অজৈব রসায়ন

INORGANIC CHEMISTRY

অধ্যাপক নিত্যানন্দ কুণ্ডু
অধ্যাপক শুভেন্দু গুপ্ত

আল্‌ফা পাবলিশিং কনসার্ন

অজৈব রসায়ন

INORGANIC CHEMISTRY

(ত্রিবর্ষ স্নাতক শ্রেণীর ছাত্রছাত্রীদের জন্য)

প্রথম খণ্ড

অধ্যাপক নিত্যানন্দ কুণ্ডু, এম্, এস্, সি ; ডি, ফিল।
উত্তরপাড়া রাজা প্যারীমোহন কলেজের রসায়ন বিভাগের অধ্যাপক।

ও

অধ্যাপক শুভেন্দু গুপ্ত, এম্, এস্, সি।
উত্তরপাড়া রাজা প্যারীমোহন কলেজের রসায়ন বিভাগের অধ্যাপক।

আলফা পাবলিশিং কনসার্ন
৭২, মহাত্মা গান্ধী রোড, কলিকাতা-৯

প্রকাশক :
শ্রীহারাধন বসাক
আলফা পাবলিশিং কনসার্ন
৭২, মহাত্মা গান্ধী রোড, কলিকাতা-৯

মুদ্রক :
শ্রীহরি নারায়ণ দে
শ্রীগোপাল প্রিন্টিং ওয়ার্কস
২৫।১এ কালীদাস সিংহ লেন,
কলিকাতা-৯

প্রকাশ, আগষ্ট, ১৯৬৯।

দাম: আট টাকা

ভূমিকা

স্নাতক শ্রেণী পরীক্ষায় বিজ্ঞান বিষয়ে পাশকোর্সে বাংলাভাষায় উত্তরদানের অনুমতি থাকা সত্বেও ছাত্রছাত্রীরা এতকাল সে সুযোগ গ্রহণ করতে পারেনি। তার কারণ বাংলা ভাষায় লিখিত পাঠ্যপুস্তকের অভাব। অথচ বাংলা বাঙালী ছাত্র-ছাত্রীদের মাতৃভাষা হওয়ায় তাদের পক্ষে বাংলার মাধ্যমে পাঠগ্রহণ করতে ও উত্তর লিখতে সুবিধা হবার কথা। বস্তুত ছাত্রছাত্রীগণকে কোন বিষয় বোঝাতে শিক্ষক-মণ্ডলীকে হামেশাই বাংলাভাষার আশ্রয় নিতে হয়। ইংরেজী অধিকাংশ ছাত্রছাত্রীদের পক্ষে ভারস্বরূপ। বিশ্ববিদ্যালয় পর্যায়েও এর প্রভাব লক্ষ্যণীয়—কলিকাতা বিশ্ব-বিদ্যালয়ের ১৯৬৯ সালের বিজ্ঞান পাশ বিষয়ের প্রশ্নপত্রে ইংরেজীর সাথে বাংলায় প্রশ্নও সন্নিবেশিত করা হয়েছে।

ইতিপূর্বে রসায়ন বিষয়ে ভৌত-রসায়ন প্রকাশিত হয়েছে। কয়েকদিন আগে জৈব রসায়নও প্রকাশিত হয়েছে। অজৈব রসায়নের এটিই বাংলা ভাষায় প্রণীত সর্ব-প্রথম পুস্তক। এই পুস্তক প্রকাশের সংগে সংগে বাংলা ভাষায় রসায়নের পঠিতব্য বিষয়ের সম্পূর্ণ পুস্তক বাংলায় প্রকাশিত হল। এর দ্বারা ছাত্রছাত্রীরা বিশেষভাবে উপকৃত হবে বলেই আমরা বিশ্বাস করি।

মূলতঃ ছাত্রছাত্রীদের পঠিতব্য বিষয়সমূহের প্রতি দৃষ্টি রেখেই এই পুস্তক প্রণীত হয়েছে। কতদূর সার্থক হয়েছি সে বিচার সুধী শিক্ষকমণ্ডলী করবেন। অসাবধানতা-বশতঃ কিছু ভুলত্রুটি এবং মুদ্রণ প্রমাদ থেকে যাওয়া অসম্ভব নয়। এ বিষয়ে যে কোন পরামর্শ আমরা সাদরে গ্রহণ করব। আশা করি বইখানির উন্নতির জন্য সুধীবৃন্দ পরামর্শদানে আমাদের বাধিত করবেন।

এই পুস্তকের পাণ্ডুলিপি দেখে যাঁরা আমাদের উপদেশ ও পরামর্শ দিয়েছেন তাঁদের মধ্যে রয়েছেন আমাদের শ্রদ্ধেয় শিক্ষক কলিকাতা বিশ্ববিদ্যায়ের রসায়ন বিভাগের শ্রীনৃপেন্দ্রনাথ ঘোষ মহাশয়। এছাড়া কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের প্রাণ-রসায়ন বিভাগের —ডঃ অরুণ বরণ বন্দ্যোপাধ্যায়, ডি. এস. সি. রচনার ব্যাপারে আমাদের কিছু মূল্যবান পরামর্শ দিয়েছেন। এঁদের কাছে আমরা ঋণী হয়ে রইলাম।

শ্রীগোপাল প্রিন্টিং ওয়ার্কসের শ্রীহরিনারায়ণ দের অক্লান্ত পরিশ্রমের ফলে পুস্তকটি যথাসময়ে প্রকাশিত হল। শ্রী দে আমাদের ধন্যবাদার্হ।

যাঁর চেষ্টায় এই পুস্তক প্রকাশিত হ'ল সেই শ্রীহারাধন বসাকের প্রতি আমাদের কৃতজ্ঞতা না জানিয়ে শেষ করতে পারছি না। ইতি

রাজা প্যারীমোহন কলেজ, গ্রন্থকারদ্বয়
উত্তরপাড়া, ৪ঠা আগস্ট, ১৯৬৯।

REGARDING THE MEDIUM OF EXAMINATION

CALCUTTA UNIVERSITY

Section 13 of Chapter XXV of Calcutta University Regulations provides :

"*English shall be medium of examination in all subjects except where otherwise specifically indicated.

*Candidates for the I.A., I.Sc., B.A. Pass, B.Sc. Pass, B.C , L.T. and B.T. Examinations are given the option of writing their answers only in Bengali. English technical terms may, however, be used. The option will not be allowed in the case of answer papers in English (the answers of which must be written in English), and also in cases where there may be specific instructions in the question-paper as to the language in which the answer is to be written.

If a candidate chooses to answer any paper in Bengali he must write the paper in Bengali. He may, however, answer one paper in Bengali and another in English in the same subject."

BURDWAN UNIVERSITY

As regards to the medium of examination the University of Burdwan follows the same principle as laid down by the University of Calcutta.

কলিকাতা ও বর্ধমান বিশ্ববিদ্যালয়ের উপরোক্ত নির্দেশ অনুযায়ী বাংলায় Chemistry-র পঠন-পাঠন ও পরীক্ষায় বাংলায় উত্তর লিখন অনুমোদিত।

সূচীপত্র

দ্বিতীয় খণ্ডের অন্তর্গত বিষয়সমূহ ঃ

প্রথম অধ্যায়

ভূমিকা (Introduction)

1.1. ভূমিকা—রসায়ন প্রকৃতিবিজ্ঞানের একটি শাখা। পদার্থের বিভিন্ন ধর্ম পর্যালোচনা করাই এর বিষয়বস্তু। পদার্থের ভৌত বা বাহ্যিক পরিবর্তন সম্পর্কিত ধর্মগুলি ভৌত রসায়নের অন্তর্গত। পদার্থের গঠনগত পরিবর্তন সম্পর্কিত ধর্মগুলি অজৈব ও জৈব রসায়নের অন্তর্ভুক্ত। এর মধ্যে কার্বন এবং হাইড্রোজেনের যৌগসমূহ এবং সেই সমস্ত যৌগ থেকে উৎপন্ন যৌগগুলির পঠন পাঠন জৈব রসায়নের বিষয়বস্তু। এ ব্যতীত প্রাকৃতিক উপাদান সমূহের বিভিন্ন ধর্ম পর্যালোচনা করাই **অজৈব রসায়নের** উদ্দেশ্য। প্রাচীনকালে রসায়ন বলতে অজৈব রসায়নকেই বোঝানো হত, কারণ তখন জৈব ও ভৌত রসায়নের উৎপত্তি হয় নি। বিজ্ঞান-প্রগতির সাথে সাথে বিভিন্ন বিষয়ে প্রচুর তথ্য সংগৃহীত হয়। এই সব তথ্যের ভিত্তিতেই রসায়নের শ্রেণীবিভাগ করা হয়েছে। কিন্তু রসায়নের তিনটি শাখার কোনটিই স্বনির্ভর নয়। অতএব যে কোন একটি শাখার পঠনের জন্য অপর শাখাগুলির জ্ঞান থাকা প্রয়োজন। বিশেষ করে তাত্ত্বিক রসায়ন (যার অধিকাংশই ভৌত রসায়নের অন্তর্গত) অজৈব রসায়নের বিষয়গুলি বুঝতে সাহায্য করে। পরমাণু-বিজ্ঞান ব্যতীত কোন রসায়নই সম্পূর্ণ নয়। পরমাণুবিজ্ঞানকে কিন্তু বিজ্ঞানের কোন একটি বিশেষ শাখার অন্তর্গত বলা যায় না। প্রকৃতপক্ষে পরমাণুবিজ্ঞান নিজেই বিজ্ঞানের একটি শাখা। আবার বিভিন্ন ভৌত রাসায়নিক তত্ত্ব অজৈব রসায়নে প্রয়োজন হয়। এইজন্য অজৈব রসায়নকে বুঝতে হলে প্রথমে এইসব বিষয় সম্পর্কে কিছু আলোচনা করা দরকার। এই আলোচনা **সাধারণ রসায়ন** (General Chemistry) নামে পরিচিত। সাধারণ রসায়ন রসায়নের কোন শাখা নয়। যে সব তত্ত্ব ও তথ্য সমগ্র রসায়নকে বুঝতে সাহায্য করে তাই সাধারণ রসায়ন। অজৈব রসায়নের আলোচনা সুরু করার আগেই সাধারণ রসায়ন সম্পর্কে আলোচনা করতেই হবে। কিন্তু মনে রাখতে হবে সাধারণ রসায়ন এবং অজৈব রসায়ন এক নয়।

অজৈব রসায়নে যে বিষয় আলোচিত হবে তা হল পদার্থের গঠনগত পরিবর্তন সম্পর্কিত ধর্মাবলী। একাধিক পদার্থের পারস্পরিক বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন নতুন নতুন পদার্থের ধর্ম ও গঠন, কিম্বা পদার্থের বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন নতুন নতুন পদার্থের ধর্ম ও গঠন এখানে আলোচনা করা হবে।

1.2a. পদার্থ (matter)—যে জিনিষের ভর আছে এবং যে জিনিষ কিছু স্থান দখল করে তাই **পদার্থ** (matter)। বস্তুতপক্ষে পদার্থের এরূপ সংজ্ঞা দেওয়া হলেও এ সম্পর্কে আমাদের ধারণা খুবই স্পষ্ট। জাগতিক ভরবিশিষ্ট যা কিছু তাই পদার্থ। আবার ভর ও শক্তি পরস্পর পরিবর্তনশীল। তাই অনেক ক্ষেত্রেই পদার্থের অবলুপ্তির ফলে শক্তির উদ্ভব হয়। কিন্তু শক্তিকে কখনও পদার্থ বলা হয় না।

1.2b. ভৌত ও রাসায়নিক পরিবর্তন (physical and chemical changes)—ভৌত পরিবর্তন পদার্থের অবস্থাগত পরিবর্তন। এই পরিবর্তনের ফলে পদার্থের আভ্যন্তরীণ গঠনের কোন পরিবর্তন হয় না। এই পরিবর্তনের ফলে নতুন কোন পদার্থের উৎপত্তি হয় না। এই পরিবর্তনে আনুষঙ্গিক তাপ-পরিবর্তন হতেও পারে নাও পারে। এই পরিবর্তনের ফলে পদার্থের ভরের কোন পরিবর্তন হয় না। প্রকৃতপক্ষে ভৌত পরিবর্তন অস্থায়ী পরিবর্তন।

কিন্তু রাসায়নিক পরিবর্তনে পদার্থের আভ্যন্তরীণ গঠনের পরিবর্তন হয়। সেইজন্য এই পরিবর্তনে আনুষঙ্গিক তাপ-পরিবর্তন হবেই। এই পরিবর্তন স্থায়ী। রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে পদার্থের ধর্মের আমূল পরিবর্তন ঘটে। অনেক ক্ষেত্রেই রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে পদার্থের ওজনে কিছু তারতম্য ঘটে।

ভৌত পরিবর্তনের উদাহরণস্বরূপ বরফের জলে পরিণত হওয়া বা জলের বাষ্পে পরিণত হওয়ার ঘটনা উল্লেখ করা যায়। এ ক্ষেত্রে জল জলই থাকে। কেবলমাত্র অবস্থাগত পরিবর্তন ঘটে। সুতরাং নতুন কোন পদার্থ উৎপন্ন হয় না। বিপরীত শর্তপ্রয়োগে বাষ্পকে জলে এবং জলকে বরফে সহজেই পরিণত করা যায়।

রাসায়নিক প রবর্তনের উদাহরণস্বরূপ হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের মিলনের ফলে জলের উৎপত্তির ঘটনা উল্লেখ করা যায়। হাইড্রোজেন অক্সিজেন এবং জল তিনটি বিভিন্ন পদার্থ। ফলে তাদের ধর্মগত পার্থক্য হবে অনেক বেশী। এক্ষেত্রে প্রতি গ্রাম অণু জলগঠনের *জন্য* 68,400 ক্যালরি তাপ উদ্ভূত হয়। জল থেকে খুব সহজে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পাওয়া যায় না। সুতরাং এই পরিবর্তন স্থায়ী।

1.2c. রাসায়নিক সংযোগ সূত্রসমূহ (laws of chemical combination)—পৃথিবীতে সাধারণত মোট 92টি বিভিন্ন পদার্থ পাওয়া যায়। এদের পারস্পরিক সংযুক্তির ফলে লক্ষ লক্ষ ভিন্ন ধর্মবিশিষ্ট পদার্থ উৎপন্ন হয়। কিন্তু এই 92টি পদার্থ থেকে বিভাজন প্রক্রিয়ার সাহায্যে নতুন কোনো পদার্থ পাওয়া যায় না। যা পাওয়া যায় তা হল কতকগুলো কণা যা প্রত্যেকটি পদার্থের মধ্যেই আছে। এই 92টি পদার্থকে **মৌলিক পদার্থ** বা **মৌল** (element) বলা চলে। বর্তমানে কৃত্রিম উপায়ে কিছু কিছু নতুন মৌল তৈরী করা সম্ভব হয়েছে। একাধিক মৌলিক পদার্থের পারস্পরিক সংযুক্তির ফলে **যৌগিক পদার্থ** বা যৌগ (compound) উৎপন্ন হয়। যৌগিক পদার্থগুলির ধর্ম তাদের মধ্যে অবস্থিত মৌলিক পদার্থগুলির ধর্ম থেকে স্বতন্ত্র। বিভিন্ন পদার্থের মধ্যে যে সংযুক্তির ফলে নতুন যৌগিক পদার্থ উৎপন্ন হয় তাকে বলা যায় **রাসায়নিক সংযুক্তি** (chemical combination)। এক বা একাধিক পদার্থ যখন কোনো প্রক্রিয়ার সাহায্যে নতুন কোনো পদার্থে বা পদার্থসমূহে রূপান্তরিত হয় তখন সেই প্রক্রিয়াকে বলা হয় **রাসায়নিক বিক্রিয়া** (chemical reaction)। রাসায়নিক সংযুক্তি এক রকমের রাসায়নিক বিক্রিয়া। রাসায়নিক সংযুক্তি সাধারণত কয়েকটি সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

ল্যাভয়সিয়ের (Lavoisier, 1774) প্রদত্ত **ভরের নিত্যতা সূত্র** থেকে জানা

যায় যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক পদার্থের মোট ওজন বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট ওজনের সমান হবে। যদি $A+B=C+D$ হয় এবং a গ্রাম A, b গ্রাম B এর সাথে বিক্রিয়া করে c গ্রাম C এবং d গ্রাম D উৎপন্ন করে তাহলে $a+b=c+d$ হবে। পরবর্তীকালে এনার্জি ও ভরের সমতুল্যতা আবিষ্কৃত হওয়ায় এই সূত্রের সামান্য সংশোধন প্রয়োজন হয়েছে। বিক্রিয়ার সময়ে তাপ পরিবর্তনকেও হিসেবের মধ্যে ধরতে হবে। তাপ একপ্রকার এনার্জি। বিক্রিয়ার ফলে যে পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হবে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ তার সমতুল্য পরিমাণে কমে যাবে।

প্রাউস্টের (Proust, 1797) নামের সাথে জড়িয়ে আছে **স্থিরানুপাত সূত্রের** (law of constant proportion) কথা। এই সূত্র থেকে জানা যায় যে, একটি নির্দিষ্ট যৌগিক পদার্থে একই মৌলিক পদার্থ থাকবে একটি নির্দিষ্ট ওজন-অনুপাতে। জল একটি নির্দিষ্ট যৌগিক পদার্থ। যে কোন ভাবেই জল উৎপন্ন হোক না কেন তার মধ্যে সবসময়েই হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন 1 : 8 ওজন-অনুপাতে বর্তমান থাকবে।

ডালটনের (Dalton, 1803) **গুণানুপাত সূত্র** (law of multiple proportion) থেকে জানা যায় যে যদি একটি নির্দিষ্ট মৌলিক পদার্থের ভিন্ন ভিন্ন ওজন অপর একটি নির্দিষ্ট মৌলিক পদার্থের একটি নির্দিষ্ট ওজনের সাথে যুক্ত হয়ে একাধিক যৌগিক পদার্থ গঠন করে তাহলে সেই বিভিন্ন ওজনগুলির মধ্যে সরল অনুপাত বর্তমান থাকবে। সরল অনুপাত বলতে সরল পূর্ণসংখ্যার অনুপাত বোঝানো হয়। নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইডে নাইট্রোজেন-অক্সিজেন ওজন অনুপাত হবে

N_2O তে-	7 : 4
NO তে-	7 : 8
N_2O_3 তে-	7 : 12
N_2O_4 বা NO_2 তে-	7 : 16
N_2O_5 এ	7 : 20

এখানে নাইট্রোজেনের একই ওজনের সাথে যে বিভিন্ন পরিমাণ অক্সিজেন যুক্ত হয়েছে তাদের অনুপাত 1 : 2 : 3 : 4 : 5, এই অনুপাতের প্রত্যেকটিই সরল পূর্ণসংখ্যা।

রিশটারের (Richter, 1792) প্রদত্ত সূত্রের নাম **মিথোনুপাত সূত্র** (law of reciprocal proportion)। এই সূত্র অনুসারে দুটি মৌলের সংযুক্তি-ওজন-অনুপাতে বা ঐ অনুপাতের কোন পূর্ণ বা অংশ গুণিতকে ঐ মৌল দুটি কোন তৃতীয় মৌলের নির্দিষ্ট ওজনের সাথে ভিন্ন ভিন্ন ভাবে যুক্ত হবে। হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের সংযুক্তি-ওজন-অনুপাত 1 : 8 H_2O তে। CH_4 ও CO_2 এ কার্বনের ওজন নির্দিষ্ট আছে এবং H_2 ও O_2 এর ওজন অনুপাত 1 : 8, কিন্তু CH_4 ও CO এ এই অনুপাত 1 : 4.

গেলুসাক (Gay Lussac, 1808) আবিষ্কার করেন **গ্যাসায়তন সূত্র**। এই সূত্র অনুসারে যখন বিভিন্ন গ্যাসের মধ্যে বিক্রিয়া হয় তখন একই তাপমাত্রায় ও চাপে বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির আয়তনের মধ্যে একটি সরল অনুপাত পাওয়া যায় এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ যদি গ্যাসীয় হয় তাহলে তার আয়তনের সাথেও বিক্রিয়ক পদার্থগুলির আয়তনের একটি সরল অনুপাত পাওয়া যায়। যেমন একই তাপমাত্রায় ও চাপে 1 আয়তন হাইড্রোজেন ও 1 আয়তন ক্লোরিনের সংযুক্তির ফলে উৎপন্ন হয় 2 আয়তন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড গ্যাস। এখানে অনুপাত 1 : 1 : 2. অনুপাতের মধ্যে সব সংখ্যাগুলিই সরল পূর্ণ সংখ্যা। এই সূত্রের কিছু আপাত ব্যতিক্রম দেখা যায়।

1.2d. পরমাণু ও অণু (atoms and molecules)—পদার্থের কণাচরিত্র সম্পর্কে প্রাচীনকালেই ভারত ও গ্রীসদেশের পণ্ডিতগণ ধারণা পোষণ করতেন। এই প্রসঙ্গে কণাদ ও ডিমোক্রিটাসের নাম উল্লেখ করা যেতে পারে। কিন্তু আধুনিক কালে ডালটন 1803 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম পদার্থের কণাচরিত্র সম্পর্কে তাঁর তত্ত্ব প্রকাশ করেন। ডালটনের পরমাণুতত্ত্ব (Dalton's atomic theory) থেকে পরমাণু সম্পর্কে যে ধারণা সৃষ্টি হয় পরবর্তীকালে তা সত্য প্রমাণিত না হলেও পরমাণুর জগতে তাঁর অবদান অসামান্য। ডালটন পরমাণু সম্পর্কে যে মত পোষণ করতেন তা সংক্ষেপে নিম্নরূপ।

পদার্থমাত্রেই অতিক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত। এই কণাগুলিকে পরমাণু বলা হয়। পরমাণু ধ্বংস বা সৃষ্টি করা যায় না। পরমাণু অবিভাজ্য। একই পদার্থের পরমাণুসমূহ সবদিক থেকে একইরকম এবং ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের পরমাণুগুলি বিভিন্ন ধর্মে একরকম নয়। সরল পরমাণুর পাশাপাশি সংযোগের ফলে তৈরী হয় যৌগিক পরমাণু।

ডালটনের পরমাণু-তত্ত্ব থেকে পরমাণুর সংজ্ঞা দাঁড়াবে এইরকম। পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা যাকে আর ভাগ করা যায় না তাই পরমাণু। কিন্তু আধুনিক বিজ্ঞানের প্রগতির ফলে জানা গেছে যে, যে কোন পরমাণুকেই ভাগ করা সম্ভব। তবে এই বিভাজন সাধারণ রাসায়নিক বিক্রিয়ার দ্বারা সম্ভব নয়। যৌগিক পদার্থের বিভাজন প্রক্রিয়ায় শেষ পর্যন্ত যে ক্ষুদ্রতম কণাগুলো পাওয়া যাবে তারা হবে যে মৌলিক পদার্থদ্বারা যৌগিক পদার্থটি গঠিত সেই মৌলগুলির পরমাণু। পরন্তু বহু মৌলের পরমাণুকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। কিন্তু রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণু অংশগ্রহণ করে। সুতরাং **মৌলিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা, যা সাধারণ রাসায়নিক পদ্ধতিতে অবিভাজ্য এবং যাকে প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না, কিন্তু রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে, তাই পরমাণু (atom)।**

ডালটনের সময়ে অণু কথাটির প্রচলন ছিল না। তাই তিনি যৌগিক পরমাণু কথাটি ব্যবহার করেছিলেন। অ্যাভোগ্যাড্রো প্রথম অণু কথাটির প্রচলন করেন।

যৌগিক বা মৌলিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা, যা প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে এবং যার মধ্যে পদার্থটির সম্পূর্ণ ধর্ম বর্তমান থাকে, তাকেই অণু (molecule) বলে।

কোন কোন মৌলের পরমাণুকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। যেমন, হিলিয়াম, নিয়ন প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণু এবং বহু ধাতব উপাদানের পরমাণুকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। এমনকি বিশেষ অবস্থায় হাইড্রোজেনের পরমাণুকেও মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। এই সকল ক্ষেত্রে উপাদানের অণুগুলি একটি পরমাণুদ্বারা গঠিত এরূপ মনে করা যায়।

1 3a. অ্যাভোগ্যাড্রো প্রকল্প বা সূত্র (Avogadro's hypothesis or law)—অ্যাভোগ্যাড্রো (Avogadro) তাঁর সূত্রটিকে প্রকল্প হিসেবেই উপস্থাপন করেন, কিন্তু এই প্রকল্পটি এতই নির্ভুল যে এখন একে সূত্রই বলা হয়। প্রকল্পটি এরকম—**সমান উষ্ণতায় এবং চাপে সমআয়তন সকল গ্যাসে (যৌগিক বা মৌলিক) সমান সংখ্যক অণু থাকবে।** অর্থাৎ যদি দুটি গ্যাসের চাপ, আয়তন, তাপমাত্রা এবং অণুর সংখ্যা যথাক্রমে P_1, V_1, T_1, n_1 এবং P_2, V_2, T_2, n_2 হয়, এবং $P_1=P_2$, $V_1=V_2$ এবং $T_1=T_2$ হয়, তাহলে $n_1=n_2$.

অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্রের সাহায্যে কয়েকটি প্রয়োজনীয় সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায়। এই সূত্রের সাহায্যেই প্রথম প্রমাণিত হয় যে গ্যাসীয় মৌলগুলির (নিষ্ক্রিয় গ্যাস ব্যতীত) অণুগুলি দ্বিপরমাণুক, কোন গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব তার আণবিক ওজনের অর্ধেক এবং প্রমাণ চাপে ও তাপমাত্রায় 1 গ্রাম-অণু গ্যাসের আয়তন 22.4 লিটার। কোন গ্যাসের আয়তনিক সংযুক্তি নির্ণয়ে এই সূত্রের সাহায্য নিতে হয়।

পরীক্ষায় দেখা যায় একই তাপমাত্রায় ও চাপে সম আয়তন হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন গ্যাস সংযুক্ত হয়ে দ্বিগুণ আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন করে। অর্থাৎ এক আয়তন হাইড্রোজেন ও এক আয়তন ক্লোরিনের মিলনের ফলে উৎপন্ন হয় 2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস। এখন যদি ধরা যায় এক আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসে n সংখ্যক অণু আছে, তাহলে অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র অনুসারে একই উষ্ণতায় ও চাপে এক আয়তন ক্লোরিন বা হাইড্রোজেন ক্লোরাইডেও n সংখ্যক অণু থাকবে। সুতরাং

n অণু হাইড্রোজেন + n অণু ক্লোরিন = 2n অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড ।

বা 1 ··· ··· + 1 ··· = 2 ··· ··· ।

বা $\frac{1}{2}$ ··· ··· + $\frac{1}{2}$ ··· = 1 ··· ··· ।

দেখা যাচ্ছে 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে $\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেন আছে। আবার হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসকে জলে দ্রাবিত করলে যে অ্যাসিড উৎপন্ন হয় তার ক্ষারগ্রাহিতা 1. সুতরাং 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইডে 1টি মাত্র হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। অর্থাৎ 1 অণু হাইড্রোজেনে দুটি পরমাণু আছে। আবার বাষ্পঘনত্ব থেকে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের আণবিক ওজন নির্ণয় করা যায়। এই ওজন 36.5 হওয়ায় দেখা যায় 1 অণুতে একটিমাত্র ক্লোরিন পরমাণু আছে। এর দ্বারা প্রমাণ হয় যে 1 অণু ক্লোরিনেও 2টি পরমাণু আছে। এমনিভাবে প্রমাণ করা যায় যে নিষ্ক্রিয় গ্যাস ব্যতীত যে কোন মৌলিক গ্যাসীয় পদার্থের অণু দুটি পরমাণু দ্বারা গঠিত।

কোন গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব বলতে সেই গ্যাস একই তাপমাত্রায় ও চাপে হাইড্রোজেনের তুলনায় কত ভারী বোঝায়। গাণিতিকভাবে লিখলে,

$$\text{বাষ্প ঘনত্ব} \quad D = \frac{x \text{ সি. সি. গ্যাসের ভর।}}{\text{একই উষ্ণতায় ও চাপে } x \text{ সি. সি. হাইড্রোজেনের ভর।}}$$

অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যাবে,

$$D = \frac{1 \text{ অণু গ্যাসের ভর}}{1 \text{ অণু হাইড্রোজেনের ভর}}$$

বা $D = M/2$.

পরীক্ষালব্ধ তথ্য থেকে দেখা যায় যে প্রমাণ চাপে ও উষ্ণতায় 1 লিটার হাইড্রোজেনের ভর 0.089 গ্রাম। অক্সিজেন হাইড্রোজেন অপেক্ষা মোটামুটি 16 গুণ ভারী হওয়ায় একই তাপমাত্রায় ও চাপে 1 লিটার অক্সিজেনের ভর হবে 16 × 0.089 গ্রাম। হাইড্রোজেনের গ্রাম আণবিক ওজন 2 গ্রাম এবং অক্সিজেনের গ্রাম আণবিক ওজন 32 গ্রাম।

এখন 0.089 গ্রাম হাইড্রোজেনের আয়তন প্রমাণ উষ্ণতায় ও চাপে 1 লিটার।

অর্থাৎ 2 ... ... $\frac{2}{0.089}$ লিটার।

$= 22.4$ লিটার।

আবার 16 × 0.089 গ্রাম অক্সিজেনের আয়তন প্রমাণ উষ্ণতায় ও চাপে 1 লিটার।

অর্থাৎ 32 ... ... $\frac{32}{16 \times 0.089}$ লিটার।

$= 22.4$ লিটার।

এইভাবে দেখানো যায়, যে কোন গ্যাসের গ্রাম আণবিক আয়তন প্রমাণ উষ্ণতায় ও চাপে 22.4 লিটার।

1.3b. তুল্যাংকভার (equivalent weight)—কোনো মৌলিক পদার্থের যত ভাগ ওজন 1·008 ভাগ হাইড্রোজেন, 8 ভাগ অক্সিজেন বা 35.5 ভাগ ক্লোরিনের সাথে যুক্ত হতে পারে বা যৌগিক পদার্থ থেকে ঐ সমস্ত মৌলের ঐ সমস্ত ওজনকে প্রতিস্থাপন করতে পারে সেই ওজনজ্ঞাপক সংখ্যাটিকে বলা হয় সেই মৌলিক পদার্থের তুল্যাংকভার। সাধারণত তুল্যাংকভার কোনো নির্দিষ্ট যৌগিক পদার্থ নিয়ে নির্ণয় করতে হয়। যেমন FeO এবং Fe_2O_3-তে আয়রণের তুল্যাংকভার যথাক্রমে 28 ও 18.67. এক্ষেত্রে কেবলমাত্র আয়রণের তুল্যাংকভার বললে কিছুই বোঝা যাবে না। সুতরাং ভিন্ন ভিন্ন যৌগিক পদার্থে একই মৌলের তুল্যাংকভার ভিন্ন ভিন্ন হতে পারে। সাধারণত যে সমস্ত মৌল একাধিক যোজ্যতাস্তরে থাকে তাদেরই ভিন্ন ভিন্ন তুল্যাংকভার হয়। যে সমস্ত মৌলের যোজ্যতা নির্দিষ্ট, ভিন্ন ভিন্ন যৌগিক পদার্থেও তাদের তুল্যাংকভার একই হবে। যেমন CaO বা $CaCl_2$ উভয়ক্ষেত্রেই Ca-এর তুল্যাংকভার 20. তুল্যাংককে গ্রামে প্রকাশ করলে **গ্রাম তুল্যাংক** (gram equivalent) পাওয়া যায়।

পুরোনো সংজ্ঞা অনুসারে কোনো মৌলের যোজ্যতার পরিমাপ হল হাইড্রোজেন

পরমাণুর সংখ্যা যার সঙ্গে মৌলটির একটি পরমাণু যুক্ত হতে পারে। যদি কোনো মৌলের যোজ্যতা v হয় তাহলে সেই মৌলের একটি পরমাণু v-সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণুর সাথে যুক্ত হতে পারে। ওজনের দিক থেকে দেখতে গেলে, যদি মৌলটির পারমাণবিক ওজন A হয়, তাহলে 1·008 পরিমাণ হাইড্রোজেনের সাথে A/v পরিমাণ মৌল যুক্ত হবে। সংজ্ঞা অনুসারে A/v মৌলটির তুল্যাংকভারের সমান। E যদি মৌলটির তুল্যাংকভার হয় তাহলে $E = A/v$.

তুল্যাংকভার নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতি আছে। সাধারণত হাইড্রোজেন, অক্সিজেন বা ক্লোরিনের সঙ্গে সংযুক্ত হওয়া বা কোন যৌগ থেকে এগুলিকে মুক্ত করাই এই পদ্ধতিগুলির মূল কথা। হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে সাধারণত প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ার সাহায্য নেওয়া হয়। যেমন পাতলা সালফিউরিক অ্যাসিডে নির্দিষ্ট ওজনের জিংক বা ম্যাগনেশিয়াম যোগ করলে যে হাইড্রোজেন উৎপন্ন হবে তার আয়তন থেকে ওজন নির্ণয় করা যাবে। ফলে জিংক বা ম্যাগনেশিয়ামের তুল্যাংকভার সহজেই নির্নীত হবে। কপার বা কার্বনের তুল্যাংকভার নির্ণয়ের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট ওজনের পদার্থকে অক্সাইডে পরিণত করে তার ওজন নির্ণয় করা হয়। যেমন নির্দিষ্ট ওজনের কার্বন অক্সিজেনে পুড়িয়ে যে কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয় তাকে কস্টিক পটাশ দ্রবণে চালনা করে শোষিত করা হয়। কস্টিক পটাশ দ্রবণের ওজন বৃদ্ধিই হবে উৎপন্ন কার্বন ডাই অক্সাইডের ওজন। কপারকে কপার নাইট্রেটে পরিণত করা হয় নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া ঘটিয়ে। সেই কপার নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে তৈরী করা হয় কপার অক্সাইড। আবার কপার অক্সাইডকে হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত করে কপারে পরিণত করে কপারের তুল্যাংকভার নির্ণয় করা যায়। সোডিয়াম বা পটাসিয়াম ধাতুর ক্ষেত্রে সাধারণত ক্লোরাইড পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। নির্দিষ্ট পরিমাণ ক্লোরাইড লবণ নিয়ে জলে গুলে দ্রবণ তৈরী করা হয়। সেই দ্রবণে অধিক পরিমাণে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করা হয়। উৎপন্ন সিলভার ক্লোরাইডকে পরিস্রাবণ করে শুকিয়ে নেওয়া হয়। এই সিলভার ক্লোরাইডের পরিমাণ থেকে যৌগে উপস্থিত ক্লোরিনের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।

1.3c. পারমাণবিক ও আণবিক ওজন (atomic and molecular weights)—পরমাণু বা অণু সংজ্ঞা অনুসারেই পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা। স্বভাবতই এই ধরণের কণার ওজন হবে খুবই কম। পরীক্ষাদ্বারা দেখা যায় সাধারণ হাইড্রোজেন গ্যাসের একটি পরমাণুর ওজন $1·693 \times 10^{-24}$ গ্রাম এবং একটি অক্সিজেন পরমাণুর ওজন 26.57×10^{-24} গ্রাম। পরমাণুর ওজনের পক্ষে গ্রাম একক খুবই বড়। এইজন্য কোনো একটি নির্দিষ্ট মৌলের পরমাণুর ওজনকে প্রমাণ ওজন ধরে তার তুলনায় কোন মৌলের পরমাণু কতগুণ ভারী বা হাল্কা নির্ণয় করা হয়। যেমন অক্সিজেনের পারমাণবিক ওজন 16 ধরলে কার্বনের পরমাণুর ওজন হয় 12·01, হাইড্রোজেনের পরমাণুর ওজন হয় 1·008। অক্সিজেনের পারমাণবিক ওজনকেই প্রমাণ ওজন ধরা হয়। অক্সিজেন পরমাণুর ওজন যখন 16 তখন কোন পরমাণু বা অণুর

তুলনামূলকভাবে যত ওজন হয় তাই তাদের পরমাণবিক বা আণবিক ওজন। এই ওজনের একক হয় পারমাণবিক একক। পারমাণবিক ওজনের আর এক নাম **পরমাণুভার** (atomic mass)।

গ্রামে প্রকাশিত পারমাণবিক ওজনকে **গ্রাম-পরমাণু** (gram-atom) এবং আণবিক ওজনকে **গ্রাম-অণু** (gram-molecule) বলে। সুতরাং এক গ্রাম অণু নাইট্রোজেন বলতে 28 গ্রাম নাইট্রোজেন বোঝায়, এক গ্রাম-পরমাণু সালফার বলতে 32 গ্রাম সালফার বোঝায়, কেননা নাইট্রোজেনের আণবিক ওজন এবং সালফারের পারমাণবিক ওজন যথাক্রমে 28 ও 32। অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র প্রয়োগে জানা যায় যে বিভিন্ন পদার্থের 1 গ্রাম-অণুতে অণুসংখ্যা সমান। অর্থাৎ 1 গ্রাম-অণু যে কোনো পদার্থেই অণুসংখ্যা নির্দিষ্ট। এই সংখ্যাকে বলা হয় **অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা** (Avogadro number)। অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা সাধারণত N দ্বারা লেখা হয় এবং পরীক্ষাদ্বারা ও অন্য উপায়ে এর মান জানা যায়। N কে বর্তমানে $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ ধরা হয়। যে কোনো পদার্থের 1 গ্রাম-পরমাণুতে পরমাণুসংখ্যা Nএর সমান।

1.3d. আণবিক ও পারমাণবিক ওজন নির্ণয় (determination of molecular and atomic weights) :—

1. তুল্যাংকভার ও ডুলং-পেটিটের সূত্র থেকে (from equivalent weight and Dulong-Petit's Law)

সাধারণ তাপমাত্রায় কোনো মৌলের পারমাণবিক ওজন ও আপেক্ষিক তাপের গুণফল 6.2 ক্যালরি হয়। ডুলং ও পেটিট (Dulong and Petit, 1818) বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষার পর এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন। এই সিদ্ধান্তকেই ডুলং ও পেটিটের সূত্র (Dulong and Petit's law) বলা হয়। কোনো মৌলের পারমাণবিক ওজন এবং আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে A এবং s হলে, এই সূত্র অনুসারে

$$A.s = 6.2 \text{ ক্যালরি।} \qquad (1.1)$$

$$\text{বা} \quad A = \frac{6{\cdot}2}{s} \qquad (1.2)$$

কোন মৌলের আপেক্ষিক তাপ অনায়াসে সঠিক মাপা যায়। সুতরাং (1.2) সমীকরণের সাহায্যে পারমাণবিক ওজন A সহজেই পাওয়া যাবে।

কিন্তু পরবর্তীকালে দেখা গেছে যে ডুলং-পেটিটের সূত্র সঠিক নয়। অনেক সময়েই $A \times s = 6{\cdot}2$ ক্যালরি হয় না, এমন কি সব সময়ে $A \times s$ ধ্রুবকও হয় না। সুতরাং এইভাবে নির্ণীত পারমাণবিক ওজন আসন্ন পারমাণবিক ওজন হবে। তবে এই আসন্ন মানের সাহায্যে সঠিক মানও নিরূপণ করা যায় তুল্যাংকভারের সাহায্য নিয়ে। সঠিকভাবে নিরূপিত তুল্যাংকভারকে এই আসন্ন পারমাণবিক ওজন দ্বারা ভাগ করে যোজ্যতার একটি আসন্ন মান পাওয়া যাবে। কিন্তু যে কোনো মৌলের যোজ্যতাই হবে পূর্ণসংখ্যা। সুতরাং আসন্ন যোজ্যতামান যে পূর্ণ সংখ্যার কাছাকাছি, সঠিক যোজ্যতা হবে সেই পূর্ণসংখ্যা। এখন সঠিক তুল্যাংকভারকে যদি সঠিক যোজ্যতা দ্বারা গুণ করা যায় তাহলেই সঠিক পারমাণবিক ওজন পাওয়া যাবে।

2. ক্যানিজারো পদ্ধতি (Cannizaro method)

ক্যানিজারো (Cannizaro, 1858) যে পদ্ধতির প্রবর্তন করেন তাকে সম্যক বুঝবার জন্য প্রথমে কয়েকটি উদাহরণ নেওয়া যাক। মৌলিক পদার্থ নাইট্রোজেনের অনেকগুলি যৌগ, যেমন অ্যামোনিয়া, নাইট্রাস অক্সাইড, নাইট্রিক অক্সাইড এবং নাইট্রোজেন পেন্টক্সাইড নেওয়া হল। প্রতিটি যৌগিক পদার্থের এক গ্রাম অণুতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করা হল। প্রথমে যৌগিক পদার্থের আণবিক ওজন নির্ণয় করা হয় বাষ্পঘনত্বের সাহায্যে। উপরের যৌগগুলিতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ পাওয়া যায়, যথাক্রমে 14, 28, 14 এবং 28. এর মধ্যে 14 সব থেকে কম। যেহেতু যে কোন নাইট্রোজেন যৌগে অন্তত এক পরমাণু নাইট্রোজেন থাকতেই হবে অতএব সব থেকে কম এই ওজনই হবে নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ওজন। অথবা নাইট্রোজেনের যে বিভিন্ন ওজন পাওয়া গেছে তাদের লঘিষ্ঠ সাধারণ গুণিতককে (এক্ষেত্রে 14) নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ওজন ধরতে হবে। সুতরাং ক্যানিজারো পদ্ধতির মূল কথা এই যে একটি মৌলের বিভিন্ন যৌগের এক গ্রাম অণুতে উপস্থিত সেই মৌলের বিভিন্ন পরিমাণের লঘিষ্ঠ সাধারণ গুণিতকই হবে সেই মৌলের পারমাণবিক ওজন। ক্যানিজারো পদ্ধতির সাফল্য নির্ভর করে বিভিন্ন যৌগিক পদার্থের আণবিক ওজনের নির্ভুল পরিমাপের উপর। সাধারণত উদ্বায়ী যৌগ নেওয়া হয় এবং বাষ্পঘনত্বের সাহায্যে আণবিক ওজন নির্ণয় করা হয়। সমস্ত দিক বিবেচনা করলে দেখা যায় এই পদ্ধতি শ্রমসাপেক্ষ এবং সবক্ষেত্রে নির্ভরযোগ্যও নয়।

3. সমাকৃতি সূত্র থেকে (from the law of isomorphism)

মিৎশারলিশের সমাকৃতি সূত্র (Mitscherlisch's law of ismorphism) থেকে জানা যায় যে একই গঠনবিশিষ্ট এবং মোটামুটি একই ধর্মবিশিষ্ট বিভিন্ন কেলাসের রাসায়নিক গঠন একই রকম হয়। যেমন $FeSO_4, 7H_2O$ এবং $ZnSO_4, 7H_2O$ একই গঠনবিশিষ্ট কেলাস উৎপন্ন করে। যদি এই দুটি পদার্থের আণবিক ওজন নির্ণয় করা যায় এবং Fe বা Zn-এর যে কোনটির পারমাণবিক ওজন জানা থাকে তবে অপরটির ওজনও অতি সহজেই নির্ণয় করা যাবে। অন্যভাবে দেখলে দেখা যায় Fe-এর যোজ্যতা 2 হওয়ায় Zn-এর যোজ্যতাও 2 হবে। এখন Zn-এর তুল্যাংকভারকে এই যোজ্যতা দ্বারা গুণ করলেই পারমাণবিক ওজন পাওয়া যাবে। যেমন Fe_2O_3 ও Al_2O_3 সমাকৃতি কেলাস গঠন করে। Al-এর যোজ্যতা Al_2O_3-এ 3, সুতরাং Fe_2O_3-এ Fe-এর যোজ্যতাও 3. এখন এই যৌগে Fe-এর তুল্যাংকভার 18.62. অতএব Fe-এর পারমাণবিক ওজন $= 3 \times 18.62 = 55.86$.

1.3e. শুদ্ধ পারমাণবিক ওজন নির্ণয় (determination of accurate atomic weights) :

উপরে বর্ণিত পদ্ধতিগুলি থেকে যে পারমাণবিক ওজন নির্ণয় করা যায় তা শুদ্ধ নয়। বিভিন্ন কারণে এই পারমাণবিক ওজনকে অশুদ্ধ ধরা হয়। এই পদ্ধতিগুলি দ্বারা নির্ণীত পারমাণবিক ওজনগুলিকে সেইজন্য নানাভাবে সংশোধনের চেষ্টা করা হয়েছে। ডুলং ও পেটিটের সূত্র এবং তুল্যাংকভারের সাহায্যে শুদ্ধ পারমাণবিক ওজন বা পরমাণুভার নির্ণয় করা সম্ভব, যদি তুল্যাংকভার সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হয় তবে। বহুক্ষেত্রে সতর্কতা অবলম্বন করে তুল্যাংকভারের বিশুদ্ধ মান পাওয়া গেছে। তার দ্বারা শুদ্ধ পারমাণবিক ওজনও নির্ণয় করা গেছে। তুল্যাংকভার নির্ণয়ের পদ্ধতিগুলি যে কোন উচ্চ মাধ্যমিক রসায়ন পুস্তকে বিস্তৃত আলোচনা করা আছে। উপরে সংক্ষেপে এগুলি আলোচনাও করা হয়েছে।

এ ছাড়া বিভিন্ন ভৌত পদ্ধতিতে শুদ্ধ আণবিক ওজন এবং পারমাণবিক ওজন

নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে। সীমাস্থ চাপ বা সীমাস্থ ঘনত্ব (limiting pressure or limiting density) পদ্ধতি দ্বারা গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক ওজন সহজেই নির্ণয় করা যায়। কঠিন পদার্থগুলির ক্ষেত্রে লঘু দ্রবণের ধর্মগুলিকে কাজে লাগানো হয়। বিশেষ করে হিমাংক হ্রাস পদ্ধতি বেশি ব্যবহার করা হয়।

শুদ্ধ পরমাণুভার নির্ণয়ের জন্য **স্টাস** (Stas, 1860-1865) রাসায়নিক পদ্ধতি অবলম্বন করেন এবং বহু মৌলের শুদ্ধ পারমাণবিক ওজন নির্ণয় করেন। তাঁর অবলম্বিত পদ্ধতিগুলির মধ্যে অনেকগুলির এখনও ব্যবহার আছে।

স্টাস $KClO_3$কে একটি সীলকরা শক্ত-কাচনলে উত্তপ্ত করেন। উৎপন্ন অক্সিজেন গ্যাস যাতে কোন $KClO_3$ বা KCl তাড়িত করে না আনতে পারে সেজন্য তিনি নলের মুখে একটি প্লাগ বসিয়ে দেন। উত্তপ্ত করার ফলে $KClO_3$ ভেঙে KCl এবং O_2 উৎপন্ন হয়। অক্সিজেনের সাথে কিছু $KClO_3$ ও KCl বেরিয়ে আসে এবং অল্প পরিমাণে Cl_2 উৎপন্ন হয়।

$$KClO_3 = KCl + 1\tfrac{1}{2}O_2$$

O_2 কে উত্তপ্ত অধঃক্ষিপ্ত সিলভারের উপর প্রবাহিত করার ফলে উৎপন্ন ক্লোরিন শোষিত হয়। এর ফলে সংশোধনী প্রয়োজন হয়। এই সংশোধনের পর স্টাস দেখলেন যে 74·590 গ্রাম KCl 48 গ্রাম অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয়। 74·590 KCl এর আণবিক ওজন।

নির্দিষ্ট পরিমাণ KCl এর সাথে $AgNO_3$ দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে যে AgCl পাওয়া যায় তাকে শুষ্ক অবস্থায় ওজন করে মারিগনাক (Marignac, 1846) দেখালেন যে 74·590 গ্রাম KCl 143·39 গ্রাম AgCl উৎপন্ন করে।

স্টাস নির্দিষ্ট পরিমাণ সিলভারকে ক্লোরাইডে পরিণত করেন দুটি ভিন্ন উপায়ে। সিলভারকে ক্লোরিনে উত্তপ্ত করে এবং সিলভারকে নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রাবিত করে KCl যোগে। হিসেব করে দেখা যায় 107·94 গ্রাম সিলভার 143·39 গ্রাম AgCl উৎপন্ন করে। অতএব 107·34 সিলভারের পারমাণবিক ওজন। এখন $Cl = AgCl - Ag = 35{\cdot}45$ এবং $K = KCl - Cl = 39{\cdot}14$.

একইভাবে সোডিয়াম, ব্রোমিন, আয়োডিন প্রভৃতি মৌলের পারমাণবিক ওজন নির্ণয় করা যায়।

নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ওজন স্টাস নিম্নলিখিত পদ্ধতি অনুসরণ করে নির্ণয় করেন।

প্রথমত নির্দিষ্ট পারমাণ সিলভারকে নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রাবিত করে তাতে নির্দিষ্ট পরিমাণ কঠিন NH_4Cl যোগ করলেন। অতিরিক্ত সিলভার নাইট্রেটকে N/10 NaCl দ্বারা টাইট্রেট করে যে মোট ফল পাওয়া গেল তাতে দেখা যায় Ag ও NH_4Cl এর ওজন অনুপাত 100 : 49·60.

দ্বিতীয়ত নির্দিষ্ট পরিমাণ KClকে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড যোগে ক্রমাগত

শুষ্ক করে যে KNO_3 পাওয়া গেল তার ওজন নির্ণয় করে পাওয়া গেল $KCl : KNO_3 = 74.59 : 101.175$.

তৃতীয়ত নির্দিষ্ট পরিমাণ Agকে নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রাবিত করে উৎপন্ন $AgNO_3$ কে শুষ্ক করে ওজন করে পাওয়া গেল

$$Ag : AgNO_3 = 100 : 157.484.$$

এই সমস্ত পরীক্ষা থেকে নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ওজন পাওয়া গেল যথাক্রমে 14.056, 14.035 এবং 14.050. কিন্তু এই মানগুলি সামান্য বেশী। প্রমাণ ভৌত পদ্ধতি অবলম্বন করে নাইট্রোজেনের পরমাণুভার পাওয়া যায় 14.008. স্টাসের পদ্ধতির মূল ভিত্তি Ag. এই Ag-এর পরমাণুভারে কোন ভুল থাকলে তার সাহায্যে নির্ণীত যে কোন পারমাণবিক ওজনই ভুল হবে।

রিচার্ডস (Richards, 1904) দেখালেন যে স্টাসের পদ্ধতিতে অধঃক্ষিপ্ত AgCl-এর ওজন নেওয়া হয়েছে, কিন্তু দ্রাবিত AgClএর কোন হিসেব করা হয়নি। তিনি নেফেলোমিটার (nephelometer) নামক যন্ত্রসাহায্যে এই দ্রাবিত AgClএর পরিমাণ নির্ণয় করেন। আরও সতর্কতামূলক ব্যবস্থা অবলম্বন করে তিনি দেখান যে Agএর পরমাণুভার 107.88, 107.94 নয়। Ag-এর পরমাণুভারকে 107.88 ধরে রিচার্ডস দেখান যে একটু সতর্কতা অবলম্বন করে স্টাস পদ্ধতিতে N-এর পরমাণুভার পাওয়া যায় 14.008.

পর্যায় সারণী

1.4a. **পর্যায় সারণী** (periodic table)—বিভিন্ন মৌলিক উপাদানের মধ্যে ধর্মগত সাদৃশ্য নিয়ে গবেষণা করতে গিয়ে প্রাউট (Prout, 1815-16) বললেন যে কোন মৌলিক পদার্থের পরমাণুভার হাইড্রোজেনের পরমাণুভারের অখণ্ড গুণিতক এবং সব পরমাণুই হাইড্রোজেনের পরমাণুসংমিশ্রণে তৈরী। এই হাইড্রোজেন পরমাণুকে তিনি প্রোটাইল (protyle) নাম দিলেন। প্রধানত বার্জেলিয়াস (Berzelius) প্রমুখ বিজ্ঞানীদের চেষ্টায় প্রাউট প্রকল্প ভুল প্রমাণিত হয়।

ডোয়েবারাইনার (Doebereiner, 1817) দেখালেন যে অনেকক্ষেত্রে একটি পদার্থের পরমাণুভার অন্য দুটি মৌলের পরমাণুভারের গড়। যেমন Sr-এর পরমাণুভার Ca ও Ba-এর পরমাণুভারের গড়। এইভাবে ডোয়েবারাইনার তিনটি মৌলের কয়েকটি গ্রুপ তৈরী করলেন। এই গ্রুপগুলিকে ডোয়েবারাইনার ট্রায়াড (Doebereiner's triad) বলা হয়।

নিউল্যাণ্ডস (Newlands, 1864) বর্তমানে প্রচলিত পর্যায়সারণীর সারমর্ম বুঝতে পেরেছিলেন বলে মনে করা যেতে পারে। অবশ্য তিনি এটি আবিষ্কার করতে পারেননি। তবে তাঁর **অক্টেভসূত্র** এই আবিষ্কারের পথপ্রদর্শক। তাঁর মতে

কম পরমাণুভার থেকে বেশী পরমাণুভারে একের পর এক মৌল সাজিয়ে গেলে দেখা যাবে যে প্রতি অষ্টম মৌল ধর্মের দিক থেকে প্রথম মৌলের সমতুল্য।

বর্তমান পর্যায় সারণী আবিষ্কারের কৃতিত্ব রুশ বৈজ্ঞানিক **মেনডেলিয়েফের** (Mendeleef, 1869)। সঙ্গে জার্মান বৈজ্ঞানিক **লোথার মায়ারের** (Lothar Meyer, 1870) নাম যুক্ত করা চলে। মেন্‌ডেলিয়েফের মতে **কোন মৌলিক পদার্থের ধর্ম তার পরমাণুভারের উপর পর্যাবৃত্তভাবে নির্ভর করে।** এই বক্তব্যকে **পর্যাবৃত্ত সূত্র** (periodic law) বলা হয়। এই সূত্র আবিষ্কার করতে গিয়ে তিনি লক্ষ্য করলেন যে ক্রমবর্ধমান পরমাণুভারে মৌলগুলিকে বিন্যস্ত করলে ধর্মগত দিক থেকে কিছু পুনরাবৃত্তি দেখা যায়। যে মৌলগুলির ধর্মগত সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায় তাদের পরমাণুভার হয় খুব কাছাকাছি (যেমন Fe 55.85. Co 58.94, Ni 58.69), নয় বেশ পৃথক (যেমন Li 6.94, Na 23.0, K 39.10)। একই যোজ্যতাবিশিষ্ট মৌল একই গ্রুপে সন্নিবিষ্ট হয়। সাধারণত পৃথিবীতে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় এমন মৌলের পরমাণুভার অপেক্ষাকৃত কম। এগুলিকে **বিশিষ্ট মৌলিক পদার্থ** (typical elements) বলা চলে। পরমাণু-ভারের উপর ধর্ম নির্ভরশীল এবং পরমাণুভার জানা থাকলে মৌলের ধর্ম বলে দেওয়া সম্ভব। এমনকি এই বিন্যাসে মোটামুটি ধর্ম জানা থাকলে মৌলের অবস্থিতি এবং তার আসন্ন পারমাণবিক ওজনও বলে দেওয়া সম্ভব। এগুলিই মেনডেলিয়েফ আবিষ্কৃত পর্যায় সারণীর বৈশিষ্ট্য।

পারমাণবিক আয়তন বলতে সাধারণত পরমাণুভার ও ঘনত্বের অনুপাত বোঝায়। পারমাণবিক আয়তনকে পরমাণুভারের বিপরীতে স্থাপন করে লোথার মায়ার দেখালেন যে সর্বাপেক্ষা ক্রিয়াশীল মৌলগুলি লেখচিত্রের উচ্চতম স্থানগুলি অধিকার করে। ক্রিয়াশীলতা হ্রাস পাওয়ার সাথে সাথে পারমাণবিক আয়তন হ্রাস পায়। স্বভাবতই এই চিত্র থেকে মৌলগুলিকে কয়েকটি ভিন্ন ভিন্ন গ্রুপে ভাগ করে ফেলা যায়। এই গ্রুপগুলিতে মোটামুটি একই ধর্মবিশিষ্ট মৌল থাকে এবং মেনডেলিয়েফের গ্রুপের সাথে এই গ্রুপ মিলে যায়। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে পর্যায় সারণী আবিষ্কারের কৃতিত্ব মেনডেলিয়েফ ও মায়ার উভয়েরই প্রাপ্য। মেনডেলিয়েফ যেভাবে উপাদানগুলিকে সাজালেন তাতে দেখা যায় প্রথম পর্যায়ে থাকে H ও He—মাত্র দুটি উপাদান। দ্বিতীয় ও তৃতীয় পর্যায়ে থাকে Li, Be, B, C,N,O, F, Ne এবং Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, A—প্রতিটিতে 8টি উপাদান। H থেকে A পর্যন্ত উপাদানগুলিকে যেমন লেখা হল এমনি ভাবে সাজানো হয়। ফলে H 1 ও He 2 নম্বর ঘর অধিকার করে। এমনি করে A 18 নম্বর ঘর অধিকার করে। পর্যায় সারণীর যত সংখ্যক ঘরে কোন উপাদান অবস্থান করে সেই ঘরসংখ্যাকে ঐ উপাদানের **পরমাণু ক্রমাংক** (atomic number) বলে। পরবর্তীকালে মোজলে আবিষ্কৃত তথ্য থেকে দেখা যায় যে **মৌলিক পদার্থের ধর্ম তার পরমাণু ক্রমাংকের উপর**

পর্যাবৃত্তভাবে নির্ভর করে। মেনডেলিয়েফের পর্যাবৃত্ত সূত্রকে এইভাবে সংশোধন করে নিতে হবে।

মেনডেলিয়েফ পৃথিবীতে পাওয়া যায় যে 92টি মৌল সেগুলিকে মোট 6টি পর্যায়ে ভাগ করেন। তিনি প্রথম পর্যায়ে 2, দ্বিতীয় ও তৃতীয় পর্যায়ের প্রত্যেকটিতে 8, চতুর্থ ও পঞ্চম পর্যায়ের প্রত্যেকটিতে 18 এবং ষষ্ঠ পর্যায়ে 32টি মৌল সন্নিবিষ্ট করেন। এছাড়া একটি সপ্তম পর্যায়েরও সূচনা করেন। কিন্তু এই পর্যায়টি অসম্পূর্ণ থাকে। পরবর্তীকালে কৃত্রিম মৌল আবিষ্কৃত হওয়ায় এই পর্যায়ে মোট 17টি মৌল সন্নিবিষ্ট করা সম্ভব হয়েছে মেনডেলিয়েফের সময়ে বহু মৌল অনাবিষ্কৃত ছিল। তিনি তার পর্যায় সারণীতে সেই সমস্ত মৌলের ঘর নির্দিষ্ট করতে পেরেছিলেন এবং তাদের মোটামুটি পারমাণবিক ওজন এবং ধর্ম বলতে সক্ষম হয়েছিলেন। আবিষ্কারের পরে সেই সমস্ত উপাদানের ধর্ম, ওজন ও পরমাণু ক্রমাংক মেনডেলিয়েফের ভবিষ্যদ্বাণীর সাথে মিলে যায়। পর্যায় সারণীতে মৌলগুলিকে এমনভাবে বিন্যস্ত করা হয় যে একই রকম ধর্মবিশিষ্ট মৌলগুলি একই গ্রুপে সন্নিবিষ্ট হয়। এরূপ মোট 8টি গ্রুপ পাওয়া যায়। প্রতিটি গ্রুপ আবার a ও b উপগ্রুপে বিভক্ত। একই গ্রুপের মৌলগুলির একদল a এবং অপরদল b উপগ্রুপে অবস্থিত হয়। a উপগ্রুপের মৌলগুলির সাথে b উপগ্রুপের মৌলগুলির সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য দুইই দেখা যায়। কিন্তু যে কোন একটি উপগ্রুপের মৌলগুলির মধ্যে বৈসাদৃশ্য অতি অল্পই দেখা যায়। তবে মৌলগুলির ধর্মে অবশ্যই কিছু কিছু তারতম্য লক্ষ্য করা যায়। চতুর্থ পর্যায়ের তৃতীয় মৌল Sc থেকে চতুর্দশ মৌল Ge পর্যন্ত মৌলগুলি সব সময়ে পর্যাবৃত্ত সূত্র মেনে চলে না। এগুলিকে **ট্রানজিশন উপাদান** (transition elements) বলা হয়। ষষ্ঠ পর্যায়ে 14টি মৌল একত্রে একই গ্রুপে অবস্থান করে। এগুলিও ট্রানজিশন মৌল এবং এগুলিকে **রেয়ার আর্থ মৌল** (rare earth elements) বলা হয়। পর্যায় সারণীর শেষের দিকের মৌলগুলি **তেজস্ক্রিয় মৌল** (radioactive elements)। U পর্যন্ত মৌল পৃথিবীতে পাওয়া যায়। পরবর্তী মৌলসমূহ কৃত্রিমভাবে তৈরী করা হয় এবং এগুলিকে **ইউরেনিয়াম পরবর্তী মৌলসমূহ** (trans-uranium elements) বলে।

পর্যায় সারণীতে হাইড্রোজেনের অবস্থান নিয়ে একটু মতভেদ আছে। মেনডেলিয়েফ হাইড্রোজেনকে প্রথম গ্রুপে সন্নিবিষ্ট করেন। কিন্তু ধর্মগত দিক থেকে দেখতে গেলে হাইড্রোজেনকে সপ্তম গ্রুপেও রাখা যায়। প্রথম গ্রুপের Na K প্রভৃতি মৌলিক পদার্থের সাথে হাইড্রোজেনের যে সাদৃশ্য সপ্তম গ্রুপের হ্যালোজেন উপাদানসমূহের সাথেও হাইড্রোজেনের সেই পরিমাণ সাদৃশ্য দেখা যায়।

খুব কাছাকাছি পরমাণুভারবিশিষ্ট তিনটি উপাদানের এক একটি গ্রুপ পাওয়া যায় যে গ্রুপে উপাদানগুলির ধর্মে প্রভূত সাদৃশ্য দেখা যায়। এরূপ তিনটি গ্রুপ

আছে—Fe, Co, Ni ; Ru, Rh, Pd এবং Os, Ir, Pt. 0 থেকে VII পর্যন্ত কোন গ্রুপেই এদের রাখা যায় না। তাই এদের জন্য অষ্টম গ্রুপের উৎপত্তি।

পর্যায় সারণীতে লক্ষ্য করলে দেখা যাবে A-K, Co-Ni এবং Te-I এর ক্ষেত্রে প্রতি জুটিতেই প্রথমটির পরমাণুভার দ্বিতীয়টি অপেক্ষা বেশী। আপাতদৃষ্টিতে এটি পর্যায় সারণীর ত্রুটি। কিন্তু আগেই বলা হয়েছে যে পরমাণুভার নয়, পরমাণু ক্রমাংকই পদার্থের ধর্ম নিরূপণ করে। পরমাণু ক্রমাংকের দিক থেকে পর্যায় সারণীতে কোন ত্রুটি লক্ষ্য করা যায় না।

1.4b. যোজ্যতার পর্যাবৃত্তি (periodicity of valency)—মেণ্ডেলিয়েফের মতে কোন মৌল পর্যায় সারণীতে যত নম্বর গ্রুপে অবস্থান করে তার যোজ্যতা তত। যেমন Na, Cu প্রভৃতি এক নম্বর গ্রুপে থাকায় তাদের যোজ্যতা 1. C, Sn, Pb প্রভৃতি 4 নম্বর গ্রুপে থাকায় তাদের যোজ্যতা 4.. দেখা যায় F বা O-ঘটিত যৌগে এই যোজ্যতার পূর্ণবিকাশ ঘটে। যেমন

গ্রুপ নং	1	2	3	4	5	6	7	8
ফ্লোরিন যৌগ	NaF	MgF_2	AlF_3	SiF_4	PF_5	SF_6	IF_7	OsF_8
অক্সিজেন যৌগ	Cs_2O	BaO	La_2O_3	PbO_2	V_2O_5	CrO_3	Mn_2O_7	OsO_4

কিন্তু অন্যান্য যৌগে অনেক ক্ষেত্রেই এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায়। যেমন Cl সপ্তম গ্রুপের সদস্য হলেও হাইড্রোজেন যৌগে এর যোজ্যতা 1—HCl. Nএর যোজ্যতা 3 এবং 5, P এবং As-এরও তাই। N, P, As প্রভৃতি পঞ্চম গ্রুপের সদস্য।

এই সব বিচ্যুতির কারণ অনুসন্ধান করতে হলে পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনের সাহায্য নিতে হবে। প্রকৃতপক্ষে পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন আবিষ্কারের পর যোজ্যতা ধারণার বিরাট পরিবর্তন ঘটেছে। P-এর সর্ববহিস্থ ইলেকট্রনীয় কক্ষপথে 5টি ইলেকট্রন থাকায় এর যোজ্যতা 5 হতে পারে ঠিকই, কিন্তু 3টি ইলেকট্রন গ্রহণের ফলে Pএর বহিস্থ কক্ষপথে ইলেকট্রন-অষ্টকের সৃষ্টি হয়। সুতরাং এর যোজ্যতা 3-ও হতে পারে। আয়ন গঠনের ক্ষেত্রে দেখা যায় প্রথম থেকে চতুর্থ গ্রুপ পর্যন্ত যে সমস্ত মৌল আয়ন গঠন করে তাদের আয়নীয় চার্জ হয় ধনাত্মক (positive)। এর মধ্যে প্রথম এবং দ্বিতীয় গ্রুপের মৌলগুলি তীব্রভাবে তড়িৎধনাত্মক (strongly electropositive)। গ্রুপসংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে মৌলের তড়িৎধনাত্মক ধর্ম আপেক্ষিকভাবে হ্রাস পায়। চতুর্থ গ্রুপ থেকেই ঋণাত্মক চরিত্র দেখা দিতে সুরু করে এবং সপ্তম গ্রুপে এর চরম বিকাশ ঘটে। সপ্তম গ্রুপে হ্যালোজেন পরিবার তীব্রভাবে তড়িৎ ঋণাত্মক। প্রথম গ্রুপের তীব্র তড়িৎ ধনাত্মক এবং সপ্তম গ্রুপের তীব্র তড়িৎ ঋণাত্মক মৌল সমূহের মাঝে যেসব মৌল আছে তাদের কোন তড়িৎধর্ম না থাকাই স্বাভাবিক। তড়িৎঋণাত্মক থেকে তড়িৎধনাত্মক ধর্মে রূপান্তরের ক্ষেত্রে এই মৌলগুলি সেতুর কাজ করে। এদের তড়িৎঋণাত্মক বা তড়িৎ ধনাত্মক কোন ধর্মই নেই। এইজন্য এদের যোজ্যতা শূন্য। তাই এই উপাদানগুলিকে 0-গ্রুপে রাখা হয়।

উপরের আলোচনায় দেখা গেল যে কোন মৌলের যোজ্যতা ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হতে পারে। ধনাত্মক যোজ্যতা 1 থেকে 4 পর্যন্ত আর ঋণাত্মক যোজ্যতা −4 থেকে −1 পর্যন্ত। আবার এও দেখা যায় যে ক্লোরিনের −1 এবং 7 দুরকম যোজ্যতাই হয়, যেমন HCl এবং Cl_2O_7. অতএব তড়িৎধনাত্মক ধর্ম থেকে প্রাপ্ত যোজ্যতার সাথে গ্রুপ সংখ্যার যোজ্যতাকেও ধরতে হবে। অ্যাবেগের (Abegg, 1904) তত্ত্ব অনুসারে জানা যায় যে কোন মৌলের দুরকম যোজ্যতা দেখা যায়। একটিকে স্বাভাবিক যোজ্যতা (normal valency) এবং অপরটিকে কনট্রাযোজ্যতা (contra valency) বলা হয়। তড়িৎধর্ম থেকে প্রাপ্ত যোজ্যতা স্বাভাবিক। 8 থেকে স্বাভাবিক যোজ্যতা বাদ দিলে কনট্রাযোজ্যতা পাওয়া যাবে। স্বাভাবিক যোজ্যতা এবং কনট্রাযোজ্যতার চিহ্ন হবে বিপরীত।

গ্রুপ নং —	1	2	3	4	5	6	7
স্বাভাবিক যোজ্যতা—	+1	+2	+3	+4	−3	−2	−1
কনট্রাযোজ্যতা—	−7	−6	−5	−4	+5	+6	+7

এর মধ্যে 1, 2 এবং 3 নম্বর গ্রুপে কনট্রাযোজ্যতা দেখা যায় না।

1.4c. হাইড্রোজেন ঘটিত যৌগ (compounds containing hydrogen)—4 থেকে 7 নম্বর পর্যন্ত গ্রুপের সব মৌলই গ্যাসীয় কোযোজী হাইড্রাইড উৎপন্ন করে। 3 নম্বর গ্রুপের বোরন এবং গ্যালিয়ামও গ্যাসীয় কোযোজী হাইড্রাইড গঠন করে। অন্যান্য হাইড্রাইড কঠিন এবং গলিত অবস্থায় আয়নিত। এক নম্বর গ্রুপের উপাদানগুলির হাইড্রাইডগুলি লবণের ন্যায় আচরণ করে। Ib গ্রুপের Cu এবং Ag হাইড্রাইড উৎপন্ন করে।

1.4d. পরমাণুভার সংশোধন (atomic weight correction)—মেণ্ডেলিয়েফ পর্যায় সারণীতে মৌলগুলির অবস্থান নির্দিষ্ট করার পর কয়েকটি মৌলের পরমাণুভার সংশোধন করেন, যদিও লোথার মায়ার তাড়াতাড়ি এইসব পরিবর্তন করার পক্ষপাতী ছিলেন না। কিন্তু মেণ্ডেলিয়েফের সংশোধন পরে ঠিক প্রমাণিত হয়েছে।

জিংকের সাথে ইণ্ডিয়ামের উপস্থিতি হেতু প্রচলিত ধারণা ছিল ইণ্ডিয়ামও জিংকের মতই দ্বিযোজী এবং এর পারমাণবিক ওজন 76. কিন্তু পর্যায় সারণীতে 2 নম্বর গ্রুপে 76 পরমাণুভারের কাছাকাছি কোন শূন্যস্থান পাওয়া যায় না। পরন্তু 3 নম্বর গ্রুপে যে শূন্যস্থান পাওয়া যায় ইণ্ডিয়ামের ধর্ম অনুসারে সেখানেই তার স্থান হতে পারে। সেক্ষেত্রে আসন্ন পরমাণুরভার হবে 114. বর্তমানে ইণ্ডিয়ামের গৃহীত পরমাণুভার 114.76.

বেরিলিয়ামের বিভিন্ন ধর্ম তৃতীয় গ্রুপের মৌলগুলির ধর্মগুলির সাথে মিলে যাওয়ায় বেরিলিয়ামকে তৃতীয় গ্রুপের উপাদান মনে করা হত। তৃতীয় গ্রুপে কোন শূন্যস্থান না থাকায় মেণ্ডেলিয়েফ এই মৌলকে দ্বিতীয় গ্রুপে যে শূন্যস্থান ছিল সেখানে স্থাপন করলেন এবং Li ও B-এর পরমাণুভারের গড় 9 কে এর পরমাণুভার ধরলেন। বেরিলিয়ামের বর্তমান গৃহীত পরমাণুভার 9·02.

ইউরেনিয়ামকে প্রথম দিকে তৃতীয় গ্রুপের উপাদান মনে করা হত। এর পরমাণুভার মনে করা হত 120. ইউরেনিয়ামের বিভিন্ন ধর্ম ক্রোমিয়ামের ধর্মের মত হওয়ায় মেণ্ডেলিয়েফ ইউরেনিয়ামকে ষষ্ঠ গ্রুপে স্থাপন করলেন এবং এর পরমাণুভার 240 ধরলেন। ইউরেনিয়ামের বর্তমান গৃহীত পরমাণুভার 238.

1.4e. নতুন মৌলের সন্ধান (prediction of new elements) —পর্যায় সারণীতে বিভিন্ন মৌলকে বিন্যস্ত করার পর কয়েকটি গ্রুপে কয়েকটি শূন্যস্থান পাওয়া যায়। এই শূন্যস্থানগুলিতে নিশ্চয়ই কোন নতুন মৌল থাকবে। এই সব শূন্যস্থানের জন্য মেণ্ডেলিয়েফ একাবোরন, একাঅ্যালুমিনিয়াম এবং একাসিলিকন নামক মৌলগুলির অস্তিত্ব কল্পনা করেন। এইসব মৌলের সম্ভাব্য ধর্মগুলিও তিনি বর্ণনা করেন। পরবর্তীকালে এই তিনটি শূন্যস্থানের জন্য তিনটি মৌল, স্ক্যাণ্ডিয়াম, গ্যালিয়াম এবং জারমানিয়াম আবিষ্কৃত হয়। এই মৌলগুলির ধর্ম মেণ্ডেলিয়েফ-কল্পিত মৌলগুলির ধর্মের সাথে মিলে যায়। একাসিলিকন এবং জারমানিয়ামের ধর্মগুলি নিচে বর্ণনা করা হল।

একাসিলিকন Es.

পরমাণুভার 72. পারমাণবিক আয়তন 13. ঘনত্ব 5.5. ময়লা ধূসর রঙের পদার্থ। ডাইঅক্সাইড গঠন করে। জলীয় বাষ্পের সাথে সহজে বিক্রিয়া হয় না। অ্যাসিডের ক্রিয়া সামান্য, ক্ষারের ক্রিয়া অধিক। উপাদানটি EsO_2 বা K_2EsF_6 জাতীয় যৌগ থেকে Na দ্বারা বিজারণ করে পাওয়া যাবে। EsO_2 তাপসহনশীল অক্সাইড, ঘনত্ব 4.7. এই অক্সাইড TiO_2 বা SnO_2 অপেক্ষা কম ক্ষারীয়, কিন্তু SiO_2 অপেক্ষা বেশী ক্ষারীয়। একাসিলিকন হাইড্রক্সাইড অ্যাসিডে দ্রাব্য, কিন্তু দ্রবণের আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটে এবং মেটাহাইড্রক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়। $EsCl_4$ একটি তরল যৌগ হবে এবং এর স্ফুটনাংক হবে 100°-র নীচে। আপেক্ষিক গুরুত্ব হবে 0° তে 1·9 এর কাছাকাছি। EsF_4 গ্যাসীয় হবে না। টেট্রাইথাইল যৌগ গঠিত হয়। তার স্ফুটনাংক হবে 160°-র কাছাকাছি এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব হবে 0·96.

জারমানিয়াম Ge.

পরমাণুভার 72·6. পারমাণবিক আয়তন 13·2. ঘনত্ব 5·47. সাদা-ধূসর বর্ণের ধাতু। GeO_2 যৌগ গঠন করে। জলের সাথে বিক্রিয়া করে না। ধাতুটি HCl দ্বারা আক্রান্ত হয় না। অম্লরাজে দ্রাবিত হয়। KOH-এর জলীয় দ্রবণের কোন ক্রিয়া ধাতুর উপর লক্ষিত হয় না, কিন্তু গলিত KOH ধাতুটিকে জারিত করে। GeO_2 বা K_2GeF_6 এর C-বিজারণ বা Na-বিজারণ দ্বারা ধাতু নিষ্কাশন করা যায়। GeO_2 তাপসহ, ঘনত্ব 4.703, ক্ষীণ ক্ষারীয়, জারমানেট লবণ উৎপন্ন করে। জারমানিয়াম হাইড্রক্সাইডের ক্ষীণ ক্ষারীয় দ্রবণে অ্যাসিড যোগ করলে কোন অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় না, কিন্তু গাঢ় দ্রবণে যোগ করলে GeO_2 বা মেটাহাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। $GeCl_4$ তরল পদার্থ, ঘনত্ব 18° তে

1·887, স্ফুটনাংক 86·5°. $GeF_4, 3H_2O$ একটি কেলাসিত কঠিন সাদা রং এর পদার্থ। $Ge(C_2H_5)_4$ এর স্ফুটনাংক 160°, ঘনত্ব 1.0 এর সামান্য কম।

মেনডেলিয়েফ আবিষ্কৃত পর্যায় সারণীতে 0-গ্রুপের কোন অস্তিত্ব ছিল না। র‍্যামজে (Ramsay) আবিষ্কৃত He এবং A-এর জন্য একটি নতুন গ্রুপের সূচনা হয়। এই গ্রুপে যে আরও কয়েকটি মৌল থাকবে তা পর্যায় সারণী থেকে স্পষ্টই বোঝা যায়। পরবর্তীকালে Ne, Kr, Xe এবং Rn-এর আবিষ্কারের ফলে এই গ্রুপ সম্পূর্ণ হয়।

1.4f. পর্যায় সারণীর ত্রুটি (defects of the periodic table)—পর্যায় সারণীতে কয়েকটি ত্রুটি লক্ষ্য করা যায়।

আগেই বলা হয়েছে A, K ; Co, Ni ; Te, I ; জুটিগুলিতে পূর্ববর্তী মৌলের পরমাণুভার পরবর্তী মৌলের পরমাণুভার অপেক্ষা বেশী। মোজলের আবিষ্কার থেকে এই ত্রুটির ব্যাখ্যা দেওয়া গেছে।

একত্র 14টি মৌলের অবস্থিতি পর্যাবৃত্ত সূত্রের আপাত ব্যতিক্রম। এরা রেয়ার আর্থ মৌল (rare earth elements)। পরমাণুর গঠন থেকে এই ত্রুটির ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছে। দেখা যায় পরমাণু ক্রমাংক বৃদ্ধির সাথে মৌলগুলির ধর্মের কোন উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন লক্ষিত হয় না।

ট্রানজিশন মৌলের তিনটি গ্রুপকে (Fe, Co, Ni ; Ru, Rh, Pd ; Os, Ir, Pt) কোন গ্রুপে স্থাপন করা যায় না। পরমাণুর গঠন জানার পর দেখা যায় এই মৌলগুলি ট্রানজিশন শ্রেণীর অন্যান্য উপাদানের সাথে একত্র থাকে।

কতকগুলি ক্ষেত্রে রাসায়নিক ধর্মে সাদৃশ্য থাকা সত্বেও মৌলগুলিকে ভিন্ন গ্রুপে স্থাপন করা হয়েছে (Cu, Hg), কিন্তু বিসদৃশ বা অল্প সদৃশ উপাদানগুলিকে অনেক জায়গায় এক গ্রুপে স্থাপন করা হয়েছে (Na, Cu). অনুভূমিক পর্যায়ে V থেকে Zn পর্যন্ত মৌলগুলির ধর্মের মধ্যে মিল আছে প্রচুর। কিন্তু সেই মিলকে কোন কাজে লাগানো হয়নি।

হাইড্রোজেনের অবস্থান একটি বিতর্কের বিষয়। এ বিষয়ে আগেই আলোচনা করা হয়েছে।

1.4g. পর্যায় সারণী ও পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন (periodic table and the electronic structure of atoms)—পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন দ্বারা পর্যায় সারণীকে ব্যাখ্যা করা যায়। প্রথম পর্যায়ে দুটি মাত্র মৌল এইজন্যই আছে যে প্রথম দুটি মৌলের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র 2টি 1s ইলেকট্রন থাকা সম্ভব। যখন প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা 2 তখন সর্বোচ্চ $2s^2 2p^6$ বা 8টি ইলেকট্রন থাকা সম্ভব। এইজন্য এই পর্যায়ে 8টি উপাদান থকে। s এবং p ইলেকট্রন বিন্যাস যদি সব থেকে বাইরের কক্ষপথে সম্পূর্ণ থাকে তাহলে মৌলটি নিষ্ক্রিয় হয়। এই কারণে তৃতীয় পর্যায়ে $3s^2 3p^6$, মোট 8টি ইলেকট্রনের জন্য 8টি মৌল পাওয়া যায়। d এবং f ইলেকট্রনের বিন্যাসের ফলে পরিবৃত্তি মৌলসমূহের সৃষ্টি হয়। যাই হোক

চতুর্থ পর্যায়ে থাকে $4s^2 3d^{10} 4p^6$ বা মোট 18টি ইলেকট্রনের জন্য 18টি মৌল। পঞ্চম পর্যায়ের ইলেকট্রন সংখ্যা ও মৌল সংখ্যা হবে $5s^2 4d^{10} 5p^6$, মোট 18টি। ষষ্ঠ পর্যায়ে $6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6$ মোট 32টি।

এক একটি পর্যায়ে সুরুতে 1টি s-ইলেকট্রন থাকে। তারপর যত ইলেকট্রন সংখ্যা বাড়তে থাকে তত নতুন নতুন মৌল পাওয়া যায়। একই গ্রুপভুক্ত মৌলের ক্ষেত্রে সর্ববহিস্থ কক্ষপথে ইলেকট্রনবিন্যাস থাকে একই রকম। এই কারণে তাদের যোজ্যতা এবং অপরাপর কিছু ধর্মের সাদৃশ্য দেখা যাবে। কিন্তু একথা মনে রাখতে হবে যে একই গ্রুপের মৌলগুলির সকল ধর্মই সদৃশ নয়। সবচেয়ে বেশি সাদৃশ্যবিশিষ্ট দুটি উপাদানের মধ্যেও প্রচুর বৈসাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়। বস্তুতপক্ষে পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষপথের ইলেকট্রনবিন্যাসে সাদৃশ্য থাকার ফলেই রাসায়নিক ধর্মগত পর্যাবৃত্তি থাকা সম্ভব।

প্রশ্নাবলী

1. রাসায়নিক সংযুক্তির সূত্রগুলি কি কি? উদাহরণ সহযোগে ব্যাখ্যা কর।
   State and illustrate with examples the laws of chemical combination.
   [সংকেত—1.2c পরিচ্ছেদ দেখ।]

2. কার্বন ও হাইড্রোজেন একত্র সংযুক্ত হয়ে চারটি যৌগিক পদার্থ গঠন করে। এই যৌগিক পদার্থগুলিতে কার্বনের শতকরা পরিমাণ যথাক্রমে 75, 80, 81.81, 82.56. গুণানুপাত সূত্র এখানে প্রযোজ্য কিনা দেখাও।
   Carbon and hydrogen combine to form four compounds. The percentages of carbon by weight in these compounds are 75. 80, ৪1.81, 82.56, respectively. Show whether the law of multiple proportion is applicable in this case.

3. নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের তিনটি যৌগে হাইড্রোজেনের শতকরা ওজন পরিমাণ যথাক্রমে 17.65, 12.5 এবং 2.33. দেখাও যে এখানে গুণানুপাত সূত্র প্রযোজ্য।
   The percentages of hydrogen in three compounds of nitrogen and hydrogen are 17.65, 12.5 and 2.33 respectively. Show that the law of multiple proportion is applicable in this case.

4. নীচের যৌগগুলির রাসায়নিক বিশ্লেষণের ফল দেওয়া হল। এই ফলের সাহায্যে মিথোনুপাত সূত্রের সত্যতা যাচাই কর।

যৌগ	আণবিক ওজন	শতকরা পরিমাণ
হাইড্রোজেন সালফাইড	34	94.32 S
মিথেন	16	75.00 C
কার্বন ডাই সালফাইড	76	15.79 C
সালফার ডাই অক্সাইড	64	50.00 S
সালফার ট্রাই অক্সাইড	80	40.00 S
জল	18	88.90 O

Test the validity of the law of reciprocal proportion with the results of analysis of the following compounds.

compound	mol. wt.	% weight
Hydrogen sulphide	34	94.32 S
Methane	16	75.00 C
Carbon disulphide	76	15.79 C
Sulphur dioxide	64	50.00 S
Sulphur trioxide	80	40.00 S
Water	18	88.90 O

5. পরমাণু ও অণু কাকে বলে? ডালটনের পরমাণুতত্ত্বের মূল কথাগুলি কি কি?
Define the terms 'atom' and 'molecule'. State the fundamental postulates of Dalton's atomic theory.
[সংকেত—1.2d পরিচ্ছেদ দেখ।]

6. কোন মৌলের তুল্যাংকভার কাকে বলে? তুল্যাংকভারের সাথে পরমাণুভারের সম্পর্ক কি? একই মৌলের বিভিন্ন তুল্যাংকভার হতে পারে কি? ডুলং ও পেটিটের সূত্র বর্ণনা কর। এই সূত্র কি সঠিক?
What is epuivalent weight of an element? What is the relation between the equivalent weight and the atomic weight of an element? Can a single element possess different values of epuivalent weight? State Dulong and Petit's law. Is this law exact?
[সংকেত—1.3b ও 1.3d পরিচ্ছেদ দেখ।]

7. 0.5 গ্রাম কোন ধাতু অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে 740 মি. মি. চাপে ও 30°C তাপমাত্রায় 194.85 ঘ. সে. শুষ্ক হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। আপেক্ষিক তাপ 0.092 হলে ধাতুর পরমাণুভার কত হবে? (উঃ 65.5)
0·5 gram of a metal gives 194.85 c. c. dry hydrogen at 30°C and under 740 m. m. pressure by reacting with acid. If the sp. ht. of the metal is 0.092 find its atomic weight.

8. 4 নম্বর প্রশ্নে বর্ণিত তথ্যের সাহায্যে C, S ও H-এর সর্বোচ্চ পরমাণুভার নির্ণয় কর।
(উঃ 12, 32, 2)
Calculate the maximum atomic weight of C, S & H with the help of the data given in question 4. (Ans. 12, 32, 2)

9. পর্যায় সারণীর বৈশিষ্ট্যগুলি বর্ণনা কর। পরমাণু ক্রমাংক কাকে বলে? মৌলের ধর্ম—পরমাণুভার না পরমাণু ক্রমাংকের উপর নির্ভরশীল?
Describe the features of the periodic table. What is atomic number of an element? Do the properties of the elements depend on their atomic weights or on their atomic numbers?
[সংকেত—1.4f পরিচ্ছেদ দেখ।]

10. পর্যায় সারণীতে হাইড্রোজেনের অবস্থান নির্ণয় কর।
Determine the position of hydrogen in the periodic table.
[সংকেত—1.4f পরিচ্ছেদের শেষের দিকে দেখ।]

11. মৌলিক পদার্থগুলির পর্যাবৃত্ত শ্রেণীবিভাগের উপর একটি নিবন্ধ লেখ। (ক. বি. 1962)
Write an essay on the periodic classification of elements. (C. U. 1962)
[সংকেত—1.4f পরিচ্ছেদ দেখ।]

12. টীকা লেখ—পর্যায় সারণীতে হাইড্রোজেনের অবস্থান। (ব. বি. 1963)
Write notes on—position of hydrogen in the periodic table. (B. U. 1963)
[সংকেত : 1.4f পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]

13. ব্যাখ্যাসহ বর্ণনা কর—সমাকৃতি সূত্র, অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র। (ক. বি. 1966)
State and illustrate : law of isomorphism, Avogadro's law. (C. U. 1966)
[সংকেত : 1.3d এবং 1.3a পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]

14. মৌলিক পদার্থসমূহের পর্যাবৃত্ত শ্রেণীবিভাগের একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। পর্যায় সারণীর প্রয়োজনীয়তা বর্ণনা কর। (ক. বি. 1966)
Give a brief account of the periodic classification of elements. Discuss the usefulness of the periodic table. (C. U. 1966)
[সংকেত : 1.4a সম্পূর্ণ এবং 1.4b থেকে 1.4e পরিচ্ছেদ সংক্ষেপে দ্রষ্টব্য।

দ্বিতীয় অধ্যায়

অ্যাসিড ও ক্ষারক (Acids and Bases)

2.1a. পুরোনো ধারণা (classical concept)—বহুকাল পর্যন্ত ধাতু বা ধাতুর মত প্রকৃতিবিশিষ্ট যৌগমূলক দ্বারা আংশিক বা সম্পূর্ণভাবে প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন বিশিষ্ট যৌগিক পদার্থকে বলা হত অ্যাসিড। সুতরাং অ্যাসিডের প্রথম ও প্রধান বৈশিষ্ট্য হল H-এর উপস্থিতি। যেমন HCl, H_2SO_4 বা H_3PO_4 অ্যাসিড, কারণ এই সকল যৌগিক পদার্থে উপস্থিত হাইড্রোজেনকে আংশিক বা সম্পূর্ণভাবে প্রতিস্থাপন করা যায়, ধাতুদ্বারা বা ধাতুর মত প্রকৃতিবিশিষ্ট কোন যৌগ-মূলক দ্বারা।

ক্ষারক এমন একটি পদার্থ যা অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে উৎপন্ন করে লবণ ও জল। যদি উৎপন্ন লবণকে প্রশম পদার্থ মনে করা হয় তাহলে ক্ষারক হবে অ্যাসিডের ঠিক বিপরীত।

এই পুরোনো ধারণা থেকে অবশ্যই কোন পদার্থ অ্যাসিড কিম্বা ক্ষারক তা বোঝা যায়। কিন্তু কোন পদার্থ কতটা আম্লিক বা ক্ষারকীয় তা সহজে বোঝা যায় না। এইজন্য এই ধারণার ক্রমশ পরিবর্তন ঘটেছে।

2.1b. ব্রয়েনস্টেড-লাউরী তত্ত্ব (Broensted-Lowry theory)—অ্যাসিড ও ক্ষারক সম্পর্কিত তথ্যাবলী সম্পূর্ণভাবে ব্যাখ্যা করার জন্য মোটামুটি সন্তোষজনক ব্রয়েনস্টেড ও লাউরীর তত্ত্ব। 1923 সালে প্রকাশিত তাঁদের তত্ত্বে তাঁরা বলছেন যে, **প্রোটনত্যাগের ক্ষমতাবিশিষ্ট পদার্থমাত্রেই অ্যাসিড আর প্রোটনগ্রাহিতা ধর্মবিশিষ্ট পদার্থমাত্রেই ক্ষারক।**

প্রোটন অর্থে ধনাত্মক চার্জবাহী হাইড্রোজেন পরমাণু H^+. সুতরাং যে পদার্থ H^+ ত্যাগ করতে পারে, কতটা পারে তার প্রয়োজন নেই, সেই পদার্থ অ্যাসিড। যেমন HCl, H_2SO_4, CH_3COOH প্রভৃতি পদার্থ। সেইমত যে পদার্থ প্রোটন গ্রহণ করতে পারে তাই ক্ষারক। যেমন NaOH, NH_3 প্রভৃতি। স্বভাবতই কোন পদার্থ কতটা আম্লিক তা বুঝতে গেলে তার প্রোটনত্যাগের ক্ষমতা জানতে হবে। কারণ একমাত্র প্রোটনত্যাগই অ্যাসিডের ধর্ম। অতএব যে পদার্থ যতবেশী প্রোটন ত্যাগের ক্ষমতা রাখে, সেই পদার্থ তত বেশী অ্যাসিড। একই ভাবে যে পদার্থের প্রোটনগ্রাহিতা যত বেশী সেই পদার্থ তত বেশী ক্ষারকীয়।

অ্যাসিড প্রোটন ত্যাগ করে। ধরা যাক HA একটি অ্যাসিড। এর বিয়োজন হবে,

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

H^+ ত্যাগ করার পর থাকছে A^-. কিন্তু ঋণাত্মক চার্জ বহন করার দরুণ স্বাভাবিকভাবেই A^- আয়নের প্রোটনের প্রতি আকর্ষণ দেখা দেবে এবং এই

আকর্ষণের ফলেই A^- এর খানিকটা প্রোটনগ্রাহিতা ক্ষমতা দেখা দেবে। A^- তখন ক্ষারক হিসেবে কাজ করবে। সুতরাং যখন HA অ্যাসিড তখন A^- ক্ষারক। HA ও A^-কে একটি **অনুবন্ধ জোড়** (conjugate pair) বলা হয়। HA অ্যাসিডের অনুবন্ধ ক্ষারক হল A^-. অল্পক্ষণের মধ্যেই দেখানো হবে যে, যে কোন ক্ষারকের ক্ষেত্রেও একটি অনুবন্ধ অ্যাসিড পাওয়া যাবে। একথাও এই প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে আয়নিত পদার্থও অ্যাসিড বা ক্ষারক হতে পারে, কেবলমাত্র তাদের প্রোটনত্যাগ বা প্রোটনগ্রহণের ক্ষমতা থাকা চাই।

সাধারণভাবে কোন পদার্থ অ্যাসিড কিম্বা ক্ষারক হবে তা নির্ভর করে তার প্রোটনত্যাগ বা প্রোটনগ্রহণের ক্ষমতার উপর। এর জন্য কোন দ্রাবকের প্রয়োজন নেই, কেন না যে অবস্থাতেই হোক্ প্রোটন ত্যাগ করলেই সে পদার্থ অ্যাসিড। কিন্তু আম্লিক বা ক্ষারকীয় ধর্মের প্রকাশ ঘটবার জন্য দ্রাবক প্রয়োজন। দ্রাবকের আম্লিক বা ক্ষারকীয় ধর্মের উপর অনেক কিছুই নির্ভর করে। যে সমস্ত পদার্থ প্রোটন ত্যাগ করে তাদের ত্যক্ত প্রোটন গ্রহণ করার জন্য কাছাকাছি একটি ক্ষারককে থাকতেই হবে। জলকে যদি দ্রাবক হিসেবে ব্যবহার করা হয় তাহলে জলই এই ক্ষারকের কাজ করবে। যেমন,

$$\underset{\text{অ্যাসিড}}{HA} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{অ্যাসিড}}{H_3O^+} + \underset{\text{ক্ষারক}}{A^-} \quad \cdots \quad (2.1)$$

এখানে দেখা যাচ্ছে যে জলে প্রোটন কখনও H^+ হিসেবে থাকতে পারে না, কিন্তু H_3O^+ বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন হিসেবে থাকে। অনেক সময় একটি প্রোটনের সাথে একাধিক জলের অণু সংযুক্ত থাকে। উৎপন্ন H_3O^+ আবার সব সময়েই H^+ ছেড়ে দিতে পারে। অতএব H_3O^+ একটি অ্যাসিড।

$$\underset{\text{অ্যাসিড}}{H_3O^+} = \underset{\text{প্রোটন}}{H^+} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \quad \cdots \quad (2.2)$$

আগেই বলা হয়েছে HA অ্যাসিডের অ্যানায়ন A^- সব সময়েই ক্ষারক হবে।

$$\underset{\text{ক্ষারক}}{A^-} + \underset{\text{প্রোটন}}{H^+} = \underset{\text{অ্যাসিড}}{HA}$$

A^-, HA-র অনুবন্ধ ক্ষারক। তেমনি H_3O^+ এর অনুবন্ধ ক্ষারক H_2O. উপরের ঘটনাবলী একত্র গ্রথিত করলে একটি সাধারণ বিক্রিয়া পাওয়া যাবে,

$$\text{অ্যাসিড } 1 + \text{ক্ষারক } 2 \rightleftharpoons \text{ক্ষারক } 1 + \text{অ্যাসিড } 2 \quad \cdots \quad (2.3)$$

ক্ষারক1 ও অ্যাসিড2 যথাক্রমে অ্যাসিড1 ও ক্ষারক2 এর অনুবন্ধ ক্ষারক ও অ্যাসিড। (2.1) নম্বর বিক্রিয়ায় $HA+H_2O \rightleftharpoons H_3O^++A^-$ বিক্রিয়াসাম্য কোন দিকে অবস্থান করবে তা নির্ভর করবে অ্যাসিড ও ক্ষারকের পারস্পরিক শক্তির উপর। যদি HA তীব্র অ্যাসিড হয় তাহলে তার প্রোটন ত্যাগের ক্ষমতা হবে অনেক বেশী। সেক্ষেত্রে, যদিও H_2O ক্ষীণ ক্ষারক, সবসময়েই H_2O প্রোটনকে গ্রহণ করবে। মনে হবে H_2O তীব্রক্ষার। HA তীব্র হওয়ায় বিয়োজন হবে

প্রায় সম্পূর্ণ এবং বিক্রিয়াসাম্য বাঁদিক থেকে ডানদিকে প্রসারিত হবে, অর্থাৎ বিপরীত বিক্রিয়ার গতি হবে মৃদু। বিপরীত বিক্রিয়া কম হওয়ার অর্থ এই যে A^--এর প্রোটনগ্রাহিতা কম। যদি A^-এর প্রোটনগ্রাহিতা শক্তি বেশী হত তাহলে H_3O^+ থেকে প্রোটন যথেষ্ট পরিমাণে বেরিয়ে আসতে বাধ্য হত। যেহেতু তা হয় না অতএব A^- অর্থাৎ **তীব্র অ্যাসিডের অ্যানায়ন একটি ক্ষীণ ক্ষারকের কাজ করবে।**

আবার যদি HA ক্ষীণ হয় তাহলে তার বিয়োজন হবে অত্যল্প। সেক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়ার গতি হবে মৃদু। তখন H_3O^+ মোটামুটি তীব্র অ্যাসিড হিসেবে কাজ করবে। ফলে বিপরীত বিক্রিয়ার গতি হবে দ্রুত। সেক্ষেত্রে বিক্রিয়াসাম্য থাকবে বাঁদিকে। H_3O^+ তীব্র হওয়ায় প্রোটনত্যাগের ক্ষমতা হবে বেশী, সুতরাং A^- কেও বেশী পরিমাণে প্রোটন গ্রহণ করতে হবে। অর্থাৎ A^- তখন মোটামুটি তীব্র ক্ষারকের কাজ করবে। অতএব **ক্ষীণ অ্যাসিডের অ্যানায়ন মোটামুটি তীব্র ক্ষারকের কাজ করে।**

HCl একটি তীব্র অ্যাসিড। অতএব Cl^- অতিক্ষীণ ক্ষারক। CH_3COOH একটি ক্ষীণ অ্যাসিড, অতএব CH_3COO^- মোটামুটি তীব্র ক্ষারক।

যখন HA তীব্র তখন H_2O মোটামুটি তীব্র ক্ষারক। কেন না HA প্রদত্ত সমস্ত প্রোটনকে গ্রহণ করার ক্ষমতা H_2O-র থাকে। বিপরীত দিকে যেমন A^- অতিক্ষীণ ক্ষারক, তেমনি H_3O^+ এর ক্ষমতাও কম হয় অর্থাৎ সেক্ষেত্রে H_3O^+ অতি ক্ষীণ অ্যাসিড। আবার যখন HA ক্ষীণ তখন A^- এবং H_3O^+ উভয়েই মোটামুটি তীব্র। অতএব দেখা যাচ্ছে যে যখন অ্যাসিড HA তীব্র হয় তখন তার অনুবদ্ধ ক্ষারক A^- ক্ষীণ হয়, আবার যখন ক্ষারক H_2O তীব্র হয় তখন তার অনুবদ্ধ অ্যাসিড H_3O^+ ক্ষীণ হয়। **একটি অনুবদ্ধ জোড়ের কোন একটি তীব্র হলে অপরটি ক্ষীণ হবে।**

এতক্ষণ দেখা গেল যে যদিও কোন পদার্থের স্বাধীন অ্যাসিড সত্তা থাকতে পারে, তবুও তার আয়ননের জন্য এমন একটি দ্রাবক দরকার হয় যার ক্ষারকীয়ধর্ম আছে। যে কোন ক্ষারকের ক্ষেত্রেও আয়ননের জন্য অ্যাসিড ধর্মবিশিষ্ট দ্রাবকের প্রয়োজন হয়। সাধারণত জল, কোহল প্রভৃতি দ্রাবকের ক্ষারক ও অ্যাসিড উভয় ধর্মই আছে। তাই জলে যেমন অ্যাসিডের আয়নন হয়, তেমনি ক্ষারকেরও আয়নন ঘটে। যেমন BA যদি কোন ক্ষারক হয় তাহলে জলে বিক্রিয়া হবে নীচের মত।

$$\underset{\text{ক্ষারক}}{BA} + \underset{\text{অ্যাসিড}}{H_2O} \rightleftarrows \underset{\text{অ্যাসিড}}{BAH^+} + \underset{\text{ক্ষারক}}{OH^-} \quad \cdots \quad (2.4)$$

BA যদি ক্ষীণ হয় এবং H_2O ক্ষীণ অ্যাসিড হওয়ায় সাম্য থাকবে বাঁদিকে। সেক্ষেত্রে BA ক্ষারকের অনুবদ্ধ অ্যাসিড BAH^+ তীব্র অ্যাসিড হবে। OH^- স্বাভাবিকভাবেই খুব তীব্র ক্ষারক, পরন্তু এখানে ক্ষীণ অ্যাসিড H_2O-র অনুবদ্ধ ক্ষার বলেও সে তীব্র। উদাহরণ হিসেবে বলা যায় NH_3 ক্ষীণ ক্ষারক, সুতরাং NH_4^+

মোটামুটি তীব্র অ্যাসিড। এই কারণে NH_4^+ লবণের জলীয় দ্রবণ আম্লিক প্রকৃতির হয়। তীব্র ক্ষারক বলতে আমরা সাধারণত ক্ষারীয় ও ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুগুলির হাইড্রক্সাইডকে বুঝি। কিন্তু এতে ধাতুর খুব একটা ভূমিকা নেই। কারণ এই হাইড্রক্সাইডগুলো সাধারণভাবে কঠিন অবস্থাতেও বিয়োজিত অবস্থায় থাকে। OH^- আয়নের উপস্থিতিই ক্ষারকের তীব্রতার কারণ। OH^--এর প্রোটনগ্রাহিতা খুবই বেশী। সুতরাং **OH^- আয়নমাত্রেই তীব্র ক্ষারক।**

অ্যাসিড বা ক্ষারক যে সবসময়েই প্রশম অণু হবে এমন কোন নিয়ম নেই। সেকথা আগের আলোচনায় স্পষ্ট হয়েছে। যখন H_2O অ্যাসিড তখন অনুবন্ধ ক্ষারক OH^- আয়ন। যখন H_2O ক্ষারক তখন অনুবন্ধ অ্যাসিড H_3O^+। সুতরাং অ্যাসিড ও ক্ষারক আয়নীয় প্রকৃতির হতে পারে। ব্রয়েনস্টেড-লাউরী তত্ত্ব অনুসারে একমাত্র H^+ আয়ন অ্যাসিড হতে পারে না, কারণ H^+ নিজেই প্রোটন এবং তার কোন প্রোটন ত্যাগের ক্ষমতা নেই। কিন্তু যে কোনো আয়ন যার H^+ আয়ন ত্যাগের ক্ষমতা আছে তাই অ্যাসিড, যেমন NH_4^+ আয়ন প্রভৃতি।

2.1c. দ্রাবকের প্রভাব (influence of solvent)—অ্যাসিডের আয়নন অনেকখানি নির্ভর করে দ্রাবকের প্রকৃতির উপর। কোন পদার্থ প্রোটন দিতে পারলেই আসিড হয় সত্যি, কিন্তু সেই প্রোটন গ্রহণের জন্য ক্ষারক উপস্থিত না থাকলে প্রোটন ত্যাগ করা যায় না। অতএব দ্রাবক কতখানি ক্ষারক হিসেবে কাজ করতে পারে তার উপর নির্ভর করবে অ্যাসিডের আয়নন কতটা হবে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে অ্যাসিডের শক্তি দ্রাবকের উপর নির্ভরশীল। তেমনি ক্ষারকের শক্তিও দ্রাবকের উপর নির্ভরশীল। ক্ষারকের ক্ষেত্রে দ্রাবককে হতে হবে আম্লিক।

$$\text{অ্যাসিড } 1 + \text{ক্ষারক } 2 \rightleftarrows \text{ক্ষারক } 1 + \text{ অ্যাসিড } 2$$

এই সাধারণ বিক্রিয়ার ক্ষারক2 দ্রাবক। এই দ্রাবক যদি যথেষ্ট পরিমাণে ক্ষারকীয় হয় তাহলে অ্যাসিড1 যথেষ্ট পরিমাণে তীব্র হবে এবং বিক্রিয়া-সাম্য ডানদিকে থাকবে। তখন ক্ষারক1 এবং অ্যাসিড 2 হবে ক্ষীণ। কিন্তু যদি ক্ষারক2 দ্রাবকের প্রোটনগ্রাহিতা কম হয় তাহলে অ্যাসিড1 হবে ক্ষীণ এবং বিক্রিয়াসাম্য থাকবে বাঁদিকে। তখন ক্ষারক 1 এবং অ্যাসিড 2-এর প্রত্যেকেই তীব্র হবে। একই অ্যাসিড বিভিন্ন দ্রাবকে বিভিন্ন প্রকার হয়। যেমন HCl অ্যাসিড, আমরা জানি, সাধারণভাবে একটি তীব্র অ্যাসিড। কিন্তু দ্রাবক যদি গ্লেসিয়াল অ্যাসেটিক অ্যাসিড হয় তাহলে HCl খুব কম পরিমাণে আয়নিত হয় এবং অত্যন্ত ক্ষীণ অ্যাসিডের মত আচরণ করে। গ্লেসিয়াল অ্যাসেটিক অ্যাসিড ক্ষারকের কাজ করে।

$$\underset{\text{অ্যাসিড}}{HCl} + \underset{\text{ক্ষারক}}{CH_3COOH} \rightleftarrows \underset{\text{ক্ষারক}}{Cl^-} + \underset{\text{অ্যাসিড}}{CH_3COOH_2^+}$$

জলে HCl এর বিয়োজন প্রায় সম্পূর্ণ। অতএব জলে HCl তীব্র অ্যাসিড।

সাধারণভাবে CH_3COOH জলে খুবই ক্ষীণ অ্যাসিড। কিন্তু যদি তরল NH_3-কে দ্রাবক হিসেবে ব্যবহার করা যায় তাহলে এই ক্ষীণ অ্যাসিডও খুব তীব্র

অ্যাসিডের মত ক্রিয়া করে, কারণ সেক্ষেত্রে CH_3COOH প্রায় সম্পূর্ণ বিয়োজিত হয়ে পড়ে। বস্তুতপক্ষে তরল অ্যামোনিয়া দ্রাবকে HCl ও CH_3COOH প্রায় সমশক্তিসম্পন্ন অ্যাসিড।

$$CH_3COOH + NH_3 \rightleftharpoons CH_3COO^- + NH_4^+$$

অ্যাসিড ক্ষারক ক্ষারক অ্যাসিড

যখন তরল HFকে দ্রাবক হিসেবে ব্যবহার করা যায় তখন এমনকি H_2SO_4 এর মত তীব্র অ্যাসিডও ক্ষারকের কাজ করে।

$$H_2SO_4 + HF \rightleftharpoons H_3SO_4^+ + F^-$$

ক্ষারক অ্যাসিড অ্যাসিড ক্ষারক

অতএব দেখা যাচ্ছে যে অ্যাসিড বা ক্ষারকের শক্তি নির্ভর করে দ্রাবকের উপর। একই দ্রাবকে বিভিন্ন অ্যাসিডের তীব্রতা থেকে তুলনামূলকভাবে কোন অ্যাসিড কত তীব্র তা জানা যায়। যেমন গ্লেসিয়াল অ্যাসেটিক অ্যাসিডে দেখা যায় তীব্রতার দিক থেকে $HClO_4 > HCl > HNO_3$.

2.1d. প্রশমন (neutralisation)—অ্যাসিড বা ক্ষারকের প্রশমনের ফলে যে পদার্থ উৎপন্ন হয় তারা ঐ অ্যাসিড বা ক্ষারকের অনুবদ্ধ পদার্থ। অতএব অ্যাসিডকে প্রশমনের অর্থ হল ঐ অ্যাসিডের অনুবদ্ধ ক্ষারক উৎপন্ন করা। যেমন CH_3COOH কে NaOH দ্বারা প্রশমন করলে CH_3COONa এবং H_2O উৎপন্ন হবে। বিক্রিয়া হবে।

$$CH_3COOH + OH^- \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_2O$$

অ্যাসিড ক্ষারক ক্ষারক অ্যাসিড

OH^- তীব্র ক্ষারক হওয়ায় অ্যাসেটিক অ্যাসিডও তীব্র অ্যাসিড হবে। ফলে বিক্রিয়া বাঁদিক থেকে ডানদিকে প্রসারিত হবে এবং বস্তুতপক্ষে সম্পূর্ণত অনুবদ্ধ ক্ষারক ও অ্যাসিড তৈরী হবে। উৎপন্ন ক্ষারক ও অ্যাসিড যথেষ্ট শক্তিশালী না হওয়ায় দ্রবণ প্রশমিত বলে মনে হবে। যে কোন প্রশমন বিক্রিয়াকে এইভাবে ব্যাখ্যা করা যায়।

সুতরাং ব্রয়েনস্টেড-লাউরী তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায়—

(ক) প্রোটন দিতে পারে এমন পদার্থ মাত্রেই অ্যাসিড। প্রোটন গ্রহণ করতে পারে এমন পদার্থ মাত্রেই ক্ষারক।

(খ) যে কোন পদার্থ স্বাধীনভাবে অ্যাসিড বা ক্ষারক হতে পারে, যদিও তাদের আপেক্ষিক শক্তি নির্ভর করবে দ্রাবকের উপর।

(গ) যে কোন অ্যাসিড বা ক্ষারকের অনুবদ্ধ ক্ষারক বা অ্যাসিড থাকবেই।

(ঘ) চার্জবাহী আয়নও অ্যাসিড বা ক্ষারক হতে পারে।

(ঙ) অ্যাসিড বা ক্ষারকের বিয়োজন দ্রাবকের উপর নির্ভরশীল।

(চ) প্রশমন অর্থে অনুবদ্ধ পদার্থ উৎপন্ন করা।

2.1e. লিউইস তত্ত্ব (Lewis theory)—1938 সালে লিউইস্ অ্যাসিড ও ক্ষারক সম্পর্কে যে তত্ত্ব প্রকাশ করেন তা ব্রয়েনস্টেড লাউরী তত্ত্বেরই সম্প্রসারিত

ভাষ্য বলা যায়। তাঁর মতে একজোড়া ইলেকট্রন ত্যাগের ক্ষমতাবিশিষ্ট পদার্থ ক্ষারক আর একজোড়া ইলেকট্রন গ্রহণযোগ্য পদার্থ অ্যাসিড।

2.1f. উভধর্মী তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ বা অ্যাম্ফোলাইট (amphoeteric electolytes or ampholytes)—অ্যাম্ফোলাইট বলতে সাধারণত সেই শ্রেণীর পদার্থকে বোঝায় যাদের মধ্যে অ্যাসিড ও ক্ষারক ধর্মের উভয়েই বর্তমান। যেমন জৈব অ্যামিনো অ্যাসিডে অ্যাসিড ও ক্ষারক ধর্মের এককালীন উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায়।

$$NH_2CH_2COOH \rightleftharpoons {}^+NH_3CH_2COO^-$$

এই ধরণের অণুগুলির দুটি অংশ দুইভাবে ক্রিয়া করে। NH_2 অংশ ক্ষারক হিসেবে কাজ করে এবং প্রোটন গ্রহণ করে, অপরপক্ষে CH_2COOH অংশ অ্যাসিড হিসেবে ক্রিয়া করে এবং প্রোটন ত্যাগ করে। ফলে একই অণুতে একই সংগে প্রোটন ত্যাগ ও প্রোটন গ্রহণ লক্ষ্য করা যায়। এর ফলে ${}^+NH_3CH_2COO^-$ উৎপন্ন হয়। এই অণুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জ আছে। এই ধরণের আয়নকে **জুইটার আয়ন** (zwitterion) বলে। বস্তুতপক্ষে অ্যামিনো অ্যাসিডের সবটাই সাধারণ অবস্থায় জুইটার আয়ন হিসেবে থাকে। এই ধরণের তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থকে, যাদের মধ্যে ক্ষারক ও অ্যাসিড ধর্ম উভয়েই বিদ্যমান, **অ্যাম্ফোলাইট** (ampholyte or amphoeteric electrolyte) বলে।

অ্যাম্ফোলাইটে যে জুইটার আয়ন থাকবেই এমন কোন কথা নেই। এমন অনেক পদার্থ আছে যারা অ্যাসিড ও ক্ষারক উভয়ভাবেই ক্রিয়া করতে পারে। তারাও অ্যাম্ফোলাইট। যেমন $Al(OH)_3$.

$$Al(OH)_3 \rightleftharpoons Al^{+3} + 3OH^- \quad (\text{ক্ষারক})$$
$$Al(OH)_3 \rightleftharpoons H^+ + AlO_2^- + H_2O \quad (\text{অ্যাসিড})$$

2.1g. অ্যাসিড ও ক্ষারকের শক্তি (strengths of acids and bases) —অ্যাসিড বা ক্ষারকের শক্তি নির্ভর করে তার আয়ননের উপর। যে অ্যাসিড যত বেশী বিয়োজিত সে অ্যাসিড তত তীব্র। সাধারণত যে কোন অ্যাসিডের বিয়োজন হয় এইভাবে $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$

এই বিক্রিয়ার বিক্রিয়া সাম্য $K_a = \dfrac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$

K_a কে অ্যাসিডের **বিয়োজন ধ্রুবক** বা **আয়নন ধ্রুবক** বলা হয়। স্বভাবতই K_a-র মান বেশী হলে বিয়োজন বেশী হবে, আর K_a-র মান কম হলে বিয়োজন কম হবে। অতএব K_a অ্যাসিডের শক্তি-পরিমাপক। বিভিন্ন অ্যাসিডের K_a মান থেকে তাদের আপেক্ষিক তীব্রতা মাপা যায়। একইভাবে ক্ষারক BOH এর ক্ষেত্রে

$$BOH \rightleftharpoons B^+ + OH^-$$

সাম্য ধ্রুবক $K_b = \dfrac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}$

এক্ষেত্রেও বিয়োজন ধ্রুবক K_b ক্ষারকের শক্তি পরিমাপক। যে ক্ষারকের K_b যত বেশী সে ক্ষারক তত তীব্র।

K_a এবং K_b সাম্য ধ্রুবক বলেই তাপমাত্রার উপর সব সময়েই নির্ভরশীল। অতএব কেবলমাত্র নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় K_a বা K_b ধ্রুবক হবে।

সাধারণত K_a ও K_b-র মান pK মান হিসেবে প্রকাশ করা হয়।

$$pK = -\log K$$

অর্থাৎ $$pK_a = -\log K_a$$

এবং $$pK_b = -\log K_b$$

অতএব pK_a বা pK_b যার যত বেশী হবে সেই অ্যাসিড বা ক্ষারক তত ক্ষীণ হবে।

যদি অ্যাসিড বা ক্ষারক ক্ষীণ হয় তাহলে অস্টওয়াল্ডের লঘুতা সূত্র অনুযায়ী

$$K_a = \frac{\alpha^2 c}{1-\alpha} \qquad \alpha = \text{বিয়োজন অংক।}$$

বা $$K_a = \frac{\Lambda^2 c}{\Lambda_0(\Lambda_0 - \Lambda)}$$

Λ = c গাঢ়ত্বে তুল্যাংক পরিবাহিতা, Λ_0 = অসীম লঘুতায় তুল্যাংক পরিবাহিতা। এক্ষেত্রে পরিবাহিতা পরিমাপের দ্বারা K_a নির্ণয় করা যেতে পারে।

অন্যান্য অনেক পদ্ধতি অনুসারে K_a নির্ণয় করা যায়। তারমধ্যে সহজ অনুঘটন ক্ষমতা নির্ণয় দ্বারা। একই বিক্রিয়া বিভিন্ন অ্যাসিড দ্বারা কি পরিমাণ ত্বরান্বিত হয় তার দ্বারা তাদের আপেক্ষিক শক্তি নির্ণয় করা যায়।

এতক্ষণ পর্যন্ত আলোচনা একক্ষারীয় অ্যাসিডে সীমাবদ্ধ রাখা হয়েছে। বহু-ক্ষারীয় অ্যাসিড স্তরে স্তরে বিয়োজিত হয়। যেমন H_3PO_4,

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^- \quad \cdots\cdots(I)\ K_1$$
$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{-2} \quad \cdots\cdots(2)\ K_2$$
$$HPO_4^{-2} \rightleftharpoons H^+ + PO_4^{-3} \quad \cdots\cdots(3)\ K_3$$

তিনটি বিয়োজনের মধ্যে (1) সর্বাধিক। (1) বিয়োজন সম্পূর্ণ হলে (2) সুরু হবে এবং (2) সম্পূর্ণ হলে (3) সুরু হবে। অতএব বিভিন্ন স্তরে K_a মান পাওয়া যাবে। ধরা যাক্ (1), (2) ও (3) নম্বর প্রক্রিয়ায় বিয়োজন ধ্রুবক যথাক্রমে K_1, K_2, K_3। এদেরকে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় বিয়োজন ধ্রুবক বলা হয়।

$$K_1 = \frac{[H^+] \times [H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]}$$

$$K_2 = \frac{[H^+] \times [HPO_4^{-2}]}{[H_2PO_4^-]}$$

$$K_3 = \frac{[H^+] \times [PO_4^{-3}]}{[HPO_4^{-2}]}$$

সম্পূর্ণ বিয়োজনের ($H_3PO_4 \rightleftharpoons 3H^+ + PO_4^{-3}$) K_a নির্ণয় করা যাবে সহজেই, কারণ

$$K_a = K_1 \times K_2 \times K_3$$

বা

$$pK_a = pK_1 + pK_2 + pK_3.$$

তালিকা। 25°C তাপমাত্রায় অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক।

অ্যাসিড	K_a	pK_a	ক্ষারক	K_b	pK_b
CH_3COOH	1.75×10^{-5}	4.757	NH_4OH	1.74×10^{-5}	4.762
C_6H_5COOH	6.31×10^{-5}	4.200	$C_6H_5NH_2$	4.10×10^{-10}	9.387
$ClCH_2COOH$	1.33×10^{-3}	2.876	$(C_6H_5)_2NH$	6.90×10^{-14}	13.161

	K_1	K_2	K_3
H_2CO_3	4.47×10^{-7}	5.62×10^{-11}	—
$(COOH)_2$	5.02×10^{-2}	5.18×10^{-2}	—
H_2S	6.30×10^{-8}	1.30×10^{-12}	—
H_3PO_4	7.52×10^{-3}	6.22×10^{-8}	$4.80 \times 10 \times^{-13}$

2.1h. জলের আয়নন (ionisation of water)—অ্যাসিড ও ক্ষারককে যদি পরস্পর বিপরীত ধর্মবিশিষ্ট পদার্থ মনে করা যায় তাহলে দুয়ের মাঝে একটি প্রশম অবস্থিতি থাকবে। জলকে অ্যাসিড ও ক্ষারকের ঠিক মাঝামাঝি স্থানে প্রশম পদার্থ ধরা হয়। অর্থাৎ জলের অ্যাসিড বা ক্ষারধর্ম কিছুই নেই অথবা দুটোই সমপরিমাণ আছে। সাধারণত অ্যাসিডে H^+-এর উপস্থিতি এবং ক্ষারে OH^- এর উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায়। জল যদি আয়নিত হয় তাহলে একটিমাত্র সম্ভাব্য উপায়েই তা হতে পারে $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

এই রাসায়নিক সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে একটি জলের অণু থেকে একটি H^+ এবং একটি OH^- আয়ন পাওয়া যায়। সমপরিমাণ H^+ ও OH^- থাকায় জলে অ্যাসিড ও ক্ষারধর্ম সমান এবং সেই জন্যই জল প্রশম পদার্থ। কিন্তু জল আয়নিত হয় কিনা সেটা প্রথমে দেখা প্রয়োজন। জল আয়নিত হয় কারণ (ক) বিশুদ্ধ জলের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে খুব সামান্য পরিমাণে হলেও তড়িৎবিশ্লেষণ হয়। (খ) অ্যাসিড ও ক্ষার দ্বারা অনুঘটনযোগ্য বিক্রিয়াগুলি জল দ্বারা অনুঘটিত হয়, অবশ্য কমমাত্রায়। (গ) বিশুদ্ধ জলের আপেক্ষিক পরিবাহিতা খুব কম হলেও ধনাত্মক। (ঘ) বিশুদ্ধ জল লবণের আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটায়। একমাত্র আয়নিত অবস্থায় থাকলেই জলের পক্ষে আর্দ্রবিশ্লেষ করা সম্ভব।

জল আয়নিত হয় বটে কিন্তু অতি অল্প পরিমাণে। এত অল্প পরিমাণে যে অবিয়োজিত জলের পরিমাণের তুলনায় বিয়োজিত জলের পরিমাণ সব সময়েই তুচ্ছ করা যায়।

জলের বিয়োজনের ফলে যে H^+ আয়ন উৎপন্ন হয় তা সাধারণত স্বাধীন প্রোটনরূপে থাকে না। প্রায় সময়েই একটি জল-অণুর সাথে মিশে H^+ থাকে

H_3O^+ বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন হিসেবে। আমাদের সুবিধার জন্য আমরা অবশ্য H^+ আয়নের স্বাধীন সত্তাই জলের মধ্যে ধরে নেবো।

জল যেহেতু বিয়োজিত হয় অতএব জলের একটি **বিয়োজন ধ্রুবক** বা **আয়নন ধ্রুবক** (K) থাকবে। K পাওয়া যাবে নীচের সমীকরণ থেকে।

$$K=\frac{[H^+]\times[OH^-]}{[H_2O]} \quad \cdots \quad (2.5)$$

আগেই বলা হয়েছে যে বিয়োজিত জলের পরিমাণে বাস্তবিকপক্ষে কোন পরিবর্তন হয় না জলের আয়ননের ফলে। সুতরাং $[H_2O]$ কে ধ্রুবক ধরা যায়। সেক্ষেত্রে (2·5) সমীকরণ থেকে পাওয়া যাবে,

$$K\times[H_2O]=[H^+]\times[OH^-]$$

এখন K = ধ্রুবক, $[H_2O]$ = ধ্রুবক। সুতরাং $K\times[H_2O]$ = নতুন কোন ধ্রুবক = K_w ধরা যাক, অতএব

$$K_w=[H^+]\times[OH^-] \quad (2.6)$$

K_w কে বলা হয় জলের **আয়নীয় গুণফল** (ionic product of water)। যদিও K এবং K_w উভয়েই ধ্রুবক, তবু দুটি ধ্রুবক এক নয়। একথা স্পষ্টভাবে মনে রাখতে হবে যে K জলের বিয়োজন বা আয়নন ধ্রুবক এবং K_w পেতে হলে (2·6) সমীকরণের সাহায্য নিতে হবে। K_w সব সময়েই $K\times[H_2O]$ এর সমান। K বা K_w উভয়েই তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে এদের মান বৃদ্ধি পায়।

K_w-এর মান নির্ণয় করতে হলে জলে হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সাইড আয়নের গাঢ়ত্ব জানতে হবে। পরিবাহিতা পরিমাপ থেকে এই গাঢ়ত্ব নির্ণয় করা যেতে পারে। দেখা গেছে 25°C উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জলের $K_w=1.0\times10^{-14}$ হয়। এখন থেকে K_w-এর এই মান আমরা ব্যবহার করব। উপরের উদাহরণে নির্ণীত K-কে $[H_2O]$, অর্থাৎ 55.5 দ্বারা গুণ করলেই K_w পাওয়া যাবে। নির্ণীত মান 1.2×10^{-14} হবে। কিন্তু যে হিসেবে এই ফল পাওয়া গেছে সেখানে কতকগুলি ত্রুটি থেকে গেছে। যেমন জলের বিশুদ্ধতা নিশ্চয়ই কম আছে। উপরন্তু 25°C উষ্ণতায় জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1 এর থেকে কম। অতএব জলের অণুসংখ্যাও 55.5 অপেক্ষা কম। কিন্তু আমরা মোটামুটি হিসেবের জন্যে এগুলো ধরে নিয়েছিলাম। অতএব K_w সবসময়েই 1×10^{-14} হবে।

এখন $[H^+]\times[OH^-]=K_w=1\times10^{-14}$

আবার $[H^+]=[OH^-]$

বা $[H^+]=1\times10^{-7}=[OH^-]$

অতএব জলে H^+ ও OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব 1×10^{-7} গ্রাম আয়ন/লিটার।

2 2a. pH ক্রম (pH-scale)—জল-মাধ্যমে অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয়ে থাকে। কিন্তু জলে সামান্য পরিমাণ অ্যাসিড যোগ করলেই $[H^+]$

অনেক বেড়ে যায়। বিপরীতভাবে যদি ক্ষার যোগ করা যায় তাহলে $[OH^-]$ প্রভূত পরিমাণে বেড়ে যায়। অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়া $[H^+]$ বা $[OH^-]$ এর উপর নির্ভরশীল। অতএব কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া জলীয় মাধ্যমে সংঘটিত করার আগে $[H^+]$ জানতে হতে পারে। আমরা আগেই দেখেছি জলের নিজস্ব $[H^+]$ কত কম। বারংবার 10^{-7} লেখায় অসুবিধে হয়, তাছাড়া $10^{-7} = 0.0000001$. এই অল্পসংখ্যা মনের মধ্যে অনুভব করতেও কিছুটা অসুবিধে হয়। এইজন্য 1909 সালে সোরেনসেন (Sorensen) pH ক্রমের প্রবর্তন করেন। pH-এর সংজ্ঞা গাণিতিক।

$$pH = -\log [H^+] \qquad \cdots \qquad (2.7)$$

অ্যাসিড মাত্রেই H^+ দেয়। যদি তীব্র হয় তাহলে অ্যাসিডের বিয়োজন হবে সম্পূর্ণ। সেক্ষেত্রে অ্যাসিডের নর্ম্যাল গাঢ়ত্ব $[H^+]$ এর সমান হবে।

1N অ্যাসিড দ্রবণের $pH = -\log 1 = 0$

0.1N অ্যাসিড দ্রবণের $pH = -\log 0.1 = -\log 10^{-1} = 1$

0.01N অ্যাসিড দ্রবণের $pH = -\log 0.01 = -\log 10^{-2} = 2$

এমনি করে 10^{-7}N অ্যাসিড দ্রবণের $pH = -\log 10^{-7} = 7$.

অর্থাৎ জলের $pH = 7$.

জল যেহেতু প্রশম পদার্থ, অতএব যে কোন প্রশম পদার্থের $pH = 7$.

এখন 1N ক্ষারের $[OH^-] = 1$ সুতরাং

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{1} = 10^{-14}.$$

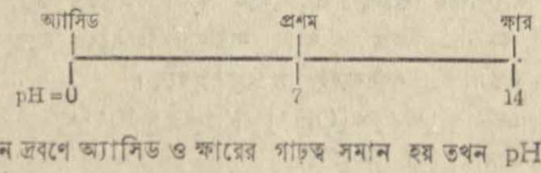
অতএব $pH = -\log 10^{-14} = 14$.

একইভাবে 0.1N ক্ষারের $pH = 13$

0.01N ক্ষারের $pH = 12$

এবং 10^{-7}N ক্ষারের $pH = 7$

দেখা যাচ্ছে অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব কমতে থাকলে pH বাড়ে, আর ক্ষারের গাঢ়ত্ব কমলে pH কমে। 1N অ্যাসিড ও 1N ক্ষারের pH পার্থক্য 14. 10^{-7}N অ্যাসিড বা ক্ষার উভয়েরই $pH = 7$.



যখন কোন দ্রবণে অ্যাসিড ও ক্ষারের গাঢ়ত্ব সমান হয় তখন $pH = 7$. 7-এর কম pH বিশিষ্ট কোন দ্রবণে ক্ষার অপেক্ষা অ্যাসিডের ভাগ বেশী, অর্থাৎ $[H^+]$ $[OH^-]$-অপেক্ষা বেশী। সুতরাং সেই দ্রবণ আম্লিক (acidic) হবে। 7-এর বেশী pH বিশিষ্ট কোন দ্রবণে $[H^+]$, $[OH^-]$ অপেক্ষা কম। সেই দ্রবণ সেইজন্যই ক্ষারীয়।

$[H^+]$ কোন দ্রবণে 10^{-7} এর বেশী হলে সেই দ্রবণ আম্লিক, 10^{-7} এর কম হলে সেই দ্রবণ ক্ষারীয় এবং 10^{-7} হলে সেই দ্রবণ প্রশম। অর্থাৎ pH 7এর কম হলে দ্রবণ আম্লিক, 7 এর বেশী হলে দ্রবণ ক্ষারীয়, আর 7 হলে দ্রবণ প্রশম হবে। এখন যদি 0 থেকে 14 পর্যন্ত pH মানের একটি ক্রম আঁকা যায় তাহলে 0 থেকে মধ্যভাগ অর্থাৎ 7 পর্যন্ত অ্যাসিড এবং মধ্যভাগ বা 7 থেকে 14 পর্যন্ত ক্ষার পাওয়া যাবে।

যেহেতু $[H^+]$ হ্রাসের সাথে pH বৃদ্ধি পায় অতএব pH মান যে দ্রবণের যত বেশী হবে তার আম্লিক প্রকৃতি তত কম হবে অর্থাৎ ক্ষার প্রকৃতি তত বেশী হবে। বিপরীতভাবে যে দ্রবণের pH যত কম হবে তার আম্লিক প্রকৃতি তত বেশী হবে বা ক্ষারপ্রকৃতি তত কম হবে।

উদাহরণ 1. 6.1×10^{-3}N অ্যাসিড ও 0.0035N ক্ষারের pH নির্ণয় কর।

6.1×10^{-3}N অ্যাসিডে $[H^+]=6.1\times10^{-3}$ গ্রাম আয়ন/লিটার।

$\therefore \quad pH=-\log 6.1\times10^{-3}=3-\log 6.1=3-0.7853=2.217.$

0.0035N ক্ষারে $[OH^-]=0.0035=3.5\times10^{-3}$ গ্রাম আয়ন/লিটার।

এখন $\quad [H^+]=\dfrac{10^{-14}}{[OH^-]}=\dfrac{10^{-14}}{3.5\times10^{-3}}=\dfrac{1}{3.5}\times10^{-11}.$

$\therefore pH=-\log\dfrac{1}{3.5}\times10^{-11}=11+\log3.5=11+0.5441=11.5441.$

উদাহরণ 2. 5.75 ও 10.34 pH বিশিষ্ট দুটি দ্রবণে H^+ আয়নগাঢ়ত্ব ও OH^- আয়নগাঢ়ত্ব কত?

$$pH=-\log[H^+]=5.75$$

$$\text{বা } \log[H^+]=-5.75=-6+0.25$$

$$=\log10^{-6}+\log1.778=\log 1.778\times10^{-6}.$$

$$\text{অতএব } [H^+]=1.778\times10^{-6}N$$

$$\text{এবং } [OH^-]=\frac{10^{-14}}{1.778\times10^{-6}}=5.623\times10^{-9}N$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $pH=-\log[H^+]=10.34$

$$\text{বা } \log[H^+]=-10.34=-11+0.66$$

$$=\log10^{-11}+\log4.571=\log4.571\times10^{-11}$$

$$\therefore \quad [H^+]=4.571\times10^{-11}$$

$$\text{এবং } [OH^-]=\frac{10^{-14}}{4.571\times10^{-11}}=2.188\times10^{-4}$$

অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব যদি 1N এর বেশী হয় তাহলে pH ঋণাত্মক হত। কিন্তু জলীয় দ্রবণে সাধারণত ঋণাত্মক pH দেখা যায় না। সেক্ষেত্রে বুঝতে হবে এই যে অ্যাসিডের বিয়োজন সম্পূর্ণ নয়।

অ্যাসিড যদি আদর্শ না হয় তাহলে গাঢ়ত্বের পরিবর্তে অ্যাকটিভিটি ব্যবহার করতে হবে। সাধারণ ক্ষেত্রে ধরে নেওয়া যেতে পারে গাঢ়ত্ব আর অ্যাকটিভিটি সমান।

2.2b. pOH—pH এর মতই pOH এর সংজ্ঞাও গাণিতিক।

$$pOH = -\log [OH^-]$$

1N ক্ষার দ্রবণে $[OH^-]=1$. সুতরাং $pOH=-\log 1=0$

এবং $10^{-7}N$ ক্ষার দ্রবণে $[OH^-]=10^{-7}$ বা $pOH=-\log 10^{-7}=7$.

এবং 1N অ্যাসিড দ্রবণে $[H^+]=1$

বা $OH^-]=\frac{10^{-14}}{1}$ অতএব $pOH=-\log 10^{-14}=7.$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে pOH, pH এর ঠিক বিপরীত।

1N অ্যাসিড দ্রবণে $pH=0, \quad pOH=14$

10^{-7} N অ্যাসিড দ্রবণে $pH=7, \quad pOH=7$

এবং 1N ক্ষার দ্রবণে $pH=14, pOH=0.$

সবক্ষেত্রেই $pH+pOH=14.$

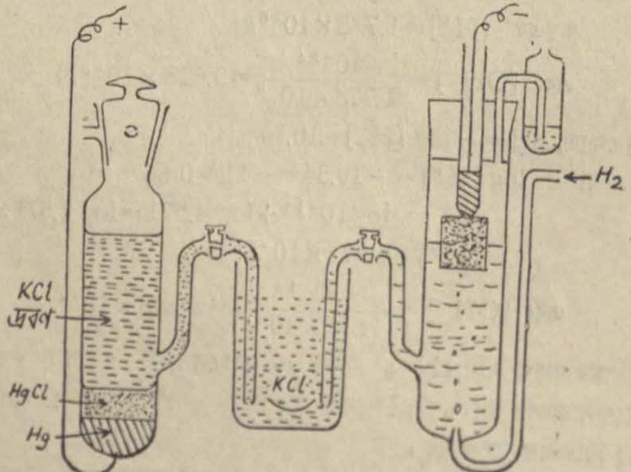
সংজ্ঞা থেকেও একই ফল পাওয়া যায়।

$$pH+pOH=-\log [H^+]-\log [OH^-]=-\log [H^+]\times[OH^-]$$
$$=-\log 10^{-14}=14$$

অতএব যে কোন দ্রবণে pH ও pOH এর সমষ্টি 14.

2.2c. pH এর পরীক্ষামূলক নির্ণয় (experimental determination of pH)—কোন দ্রবণের pH নির্ণয় করার একাধিক পদ্ধতি আছে। নীচে একটি-মাত্র বর্ণনা করা হল।

প্রথমে দ্রবণটিকে একটি পাত্রে নিয়ে তার ভিতরে আর্দ্র হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করে দ্রবণটিকে H_2-সম্পৃক্ত করা হল। এর মধ্যে একটি প্লাটিনাইজ করা



চিত্র নং 1 pH নির্ণয়

Pt ধাতুর পাত ডুবিয়ে দেওয়া হল। এই ধাতুর পাতের সাথে যুক্ত তার বাইরের বর্তনীতে সংযুক্ত করা হবে। এখন একটি হাইড্রোজেন ইলেকট্রোড তৈরী হল। এবার একটি লবণসেতুর সাহায্যে এই ইলেকট্রোডকে একটি প্রমাণ ক্যালোমেল ইলেকট্রোডের সাথে যুক্ত করা হল। উৎপন্ন সম্পূর্ণ সেলের E. M. F. মেপে নিয়ে pH নির্ণয় করা যাবে। পরীক্ষার সময় তাপমাত্রার পরিবর্তন না ঘটে সেদিকে নজর রাখতে হবে, কারণ E. M. F. তাপমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয়। তরল-সংযোগ হেতু উৎপন্ন পোটেন্সিয়ালকে বাদ দেবার জন্য লবণ সেতু ব্যবহার করা হয়। এখন যদি ক্যালোমেল ইলেকট্রোড সম্পৃক্ত হয় তাহলে $E_{\text{ক্যালোমেল}} = 0.2415$ ভোল্ট 25°C উষ্ণতায়। হাইড্রোজেন ইলেকট্রোডের পোটেন্সিয়াল $= 0.059\text{pH}$. সম্পূর্ণ সেলের E.M.F. যদি E হয়, তাহলে

$$E = E_{\text{হাইড্রোজেন}} + E_{\text{ক্যালোমেল}}$$

বা $$E_{\text{হাইড্রোজেন}} = E - E_{\text{ক্যালোমেল}}$$

বা $$0.059\text{pH} = E - E_{\text{ক্যালোমেল}}$$

$$\therefore \quad \text{pH} = \frac{E - 0.2415}{0.059}$$

pH নির্ণয়ের অন্যান্য পদ্ধতির মধ্যে আছে গ্লাস ও কুইনহাইড্রোন ইলেকট্রোড দ্বারা নির্ণয় এবং সূচক দ্বারা নির্ণয়। গ্লাস ইলেকট্রোড পদ্ধতি অনেকটা হাইড্রোজেন ইলেকট্রোড পদ্ধতির মত। আর সূচক পদ্ধতিতে মোটামুটি আসন্ন pH মান নির্ণয় করা যায়।

2.2d. হেণ্ডারসন সমীকরণ (Henderson equation)—HA একটি ক্ষীণ অ্যাসিড হলে এর লবণে A^- আয়ন থাকবে। লবণ সাধারণত তীব্র তড়িৎবিশ্লেষ্য বলে $[A^-] = [\text{লবণ}]$ ধরা যাবে। এখন

$$HA = H^+ + A^-$$

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$$

উভয় পক্ষের লগারিদম নিয়ে

$$\log K_a = \log [H^+] + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

বা $$-\log [H^+] = -\log K_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

বা $$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.8)$$

এই সমীকরণকে হেণ্ডারসন সমীকরণ (Henderson equation) বলে। অ্যাসিড HA ক্ষীণ হওয়ায় বিয়োজন এত কম পরিমাণে হবে যে [HA] প্রকৃতপক্ষে প্রারম্ভিক অ্যাসিড গাঢ়ত্বের সমান হবে। সেক্ষেত্রে

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{\text{লবণ গাঢ়ত্ব}}{\text{অ্যাসিড গাঢ়ত্ব}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.9)$$

2.2e. সাধারণ আয়ন প্রভাব (common ion effect)—কোন ক্ষীণ তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ BA উভমুখীভাবে বিয়োজিত হয় আয়নে $BA \rightleftarrows B^+ + A^-$.

এই বিয়োজনে একটি সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়। সাম্য ধ্রুবক

$$K = \frac{[B^+] \times [A^-]}{[BA]}$$

এই সাম্যাবস্থা সাম্য সূত্র মেনে চলে। এখন যদি দ্রবণে B^+ আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়িয়ে দেওয়া যায় তাহলে ভগ্নাংশের লব বেড়ে যাবে। কিন্তু ধ্রুবক হওয়ার A^- আয়নের গাঢ়ত্ব কমে যেতে বাধ্য হবে। অর্থাৎ বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন আয়নের পরিমাণ কমে যাবে বা বিয়োজন কমবে। বিক্রিয়াসাম্য তখন ডানদিক থেকে বাঁদিকে ঝুঁকবে। A^- আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়িয়ে দিলেও একই ফল হবে। B^+ বা A^- আয়ন তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থ থেকে উৎপন্ন। বাইরে থেকে এই দুটি আয়নের যে কোনটি যোগ করলে তবেই এরকম হবে। উৎপন্ন আয়নের সাথে সাধারণ নয় এমন আয়ন যোগ করলে বিয়োজনের উপর কোন প্রভাব পড়বে না। সুতরাং তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে একটি সাধারণ আয়ন যোগ করলে বিয়োজনমাত্রা কমে যাবে। একেই **সাধারণ আয়ন প্রভাব** বলে।

$$NH_4OH \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$

$$K_b = \frac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]}$$

এখন যদি কিছু পরিমাণ NH_4Cl যোগ করা হয় অর্থাৎ কিছু পরিমাণ NH_4^+ যোগ করা হয় তাহলে সাধারণ আয়ন প্রভাবে NH_4OH-এর বিয়োজন কম হবে। ফলে OH^--এর গাঢ়ত্ব কমে যাবে। সাধারণ পরীক্ষাগার বিশ্লেষণে NH_4OH-এর সাথে NH_4Cl এই কারণেই ব্যবহার করা হয়।

CH_3COOH দ্রবণে কিছু পরিমাণ CH_3COONa দ্রবণ যোগ করলে CH_3COOH-এর বিয়োজনমাত্রা কমে যাবে।

$$CH_3COOH \rightleftarrows CO_3COO^- + H^+$$

যদি $[CH_3COOH] = c$ হয়, বিয়োজন অংক $= \alpha$ হয়, তাহলে

$$[H^+] = c\alpha \text{ এবং } [CH_3COO^-] = c\alpha.$$

হেণ্ডারসন সমীকরণ অনুসারে $pH = pK_a + \log \frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$

বা $pH = pK_a + \log \frac{\alpha c}{c - \alpha} = pK_a + \log \alpha$ [যখন $\alpha \ll c$] (2.10)

কিন্তু যদি x পরিমাণ CH_3COO^- এই দ্রবণে যোগ করা হয় তাহলে $[CH_3COO^-]$ বেড়ে যাবে। তার ফলে $[H^+]$-এরও পরিবর্তন ঘটবে। যখন α খুব ছোট তখন $[CH_3COOH]$-কে মোটামুটি ধ্রুবক ধরে নেওয়া হয়। সুতরাং

pH-মানও পরিবর্তিত হবে। গাঢ়ত্ব পরিবর্তনের হেতু বিয়োজন অংকের পরিবর্তন। ধরা যাক বিয়োজন অংক পরিবর্তিত হয়ে α' হল। তাহলে $[H^+]=c-\alpha'c$,

$$[CH_3COO^-]=\alpha'c+x,\ [CH_3COOH]=c-\alpha'$$

$$\text{এখন}\ pH=pK_a+\log\frac{\alpha'c+x}{c-\alpha'} \quad \cdots \quad (2.11)$$

(2.10) ও (2.11) সমীকরণ থেকে বিশুদ্ধ অ্যাসিডের এবং অ্যাসিড ও লবণ মিশ্রণের pH নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ 3. অ্যাসেটিক অ্যাসিডের বিয়োজন ধ্রুবক 1.75×10^{-5} এবং 0.001N অ্যাসিডে বিয়োজন অংক 0.124. ঐ অ্যাসিডের pH কত?

$$pH=pK_a+\log\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}=4.757+\log\frac{0.001\times0.124}{0.001-0.001\times0.124}$$

$$=4.757-0.9066=3.7404.$$

উদাহরণ 4. 200 ঘ. সে. 0.05N অ্যাসেটিক অ্যাসিডের সাথে 100 ঘ. সে. 0.1N CH_3COONa দ্রবণ যোগ করলে মিশ্রণের pH কত হবে? $K_{CH_3COOH}=1.74\times10^{-5}$, 25°C উষ্ণতায়।

দ্রবণের মোট আয়তন = (200 + 100) ঘ. সে. = 300 ঘ. সে.

$$[CH_3COOH]=\frac{200\times0.05N}{300}=0.033N.$$

$$[CH_3COONa]=\frac{100\times0.1N}{300}=0.033N.$$

$$pK_a=\log 1.74\times10^{-5}=4.782$$

$$pH=pK_a+\log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অ্যাসিড}]}=4.782+\log\frac{0.033N}{0.033N}$$

$$=4.782.$$

2.2f আইসোহাইড্রিক দ্রবণ (isohydric solutions)—সাধারণ আয়ন যোগ করার ফলে ক্ষীণ তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থগুলির বিয়োজনমাত্রা কমে যায়। কিন্তু যদি একটি ক্ষীণ তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে আর একটি ক্ষীণ তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ যোগ করা যায় তাহলে এমন হতে পারে যে দুটি পদার্থের কোনটিই অপরটির বিয়োজন অংক কমাতে পারে না। এরকম দুটি দ্রবণকে **আইসোহাইড্রিক দ্রবণ** বলে। এই ঘটনাকে বলে **আইসোহাইড্রি** (isohydry)।

আর্দ্র বিশ্লেষ (Hydrolysis)

2.3. **লবণের আর্দ্র-বিশ্লেষ** (hydrolysis of salts)—লবণ মাত্রেরই দুটি অংশ থাকে। ক্ষারক অংশ ও অ্যাসিড অংশ। ক্ষারক ও অ্যাসিডের বিক্রিয়ার ফলেই উৎপন্ন হয় লবণ ও জল। অ্যাসিড বা ক্ষারক তীব্র বা ক্ষীণ যাই হোক না কেন তারা লবণ উৎপন্ন করে। কিন্তু উৎপন্ন লবণের প্রকৃতি কিছুপরিমাণে নির্ভর করে মূল অ্যাসিড বা ক্ষারকের প্রকৃতির উপর। যে ক্ষারক এবং অ্যাসিডের বিক্রিয়ার ফলে লবণের উৎপত্তি তার যে কোন একটি বা উভয়েই যদি ক্ষীণ হয় তাহলে উৎপন্ন লবণ জলীয় দ্রবণে উভমুখীভাবে জলের সাথে বিক্রিয়া করে। অবশ্য এই বিক্রিয়া হয় অল্প পরিমাণে। এই বিক্রিয়ার ফলে অতি অল্প পরিমাণে মূল অ্যাসিড বা ক্ষারক উৎপন্ন হয়। এই ঘটনাকে **আর্দ্র-বিশ্লেষ** (hydrolysis) বলে। AB লবণ আর্দ্রবিশ্লেষের ফলে BOH ও HA উৎপন্ন করে।

$$AB + H_2O \rightleftarrows BOH + HA.$$

আর্দ্র-বিশ্লেষের ফলে দ্রবণে কিছু পরিমাণ ক্ষারক ও অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এদের মধ্যে যে বেশী তীব্র, দ্রবণের pH তার দিকে সরে যাবে। ফলে জলীয় দ্রবণ শেষ পর্যন্ত হয় আম্লিক নয় ক্ষারীয় হবে। একমাত্র যখন উৎপন্ন ক্ষারক ও অ্যাসিডের শক্তি সমান হবে তখনই লবণ দ্রবণের pH জলের pH এর সমান হবে।

লবণ BA সাধারণত সম্পূর্ণ বিয়োজিত থাকে। অর্থাৎ BA-র পরিবর্তে সব সময়েই $B^+ + A^-$ লেখা যায়। মনে রাখতে হবে আর্দ্র-বিশ্লেষ হয় অতি অল্প পরিমাণে যার ফলে ক্ষারক বা অ্যাসিড উৎপন্ন হয় অতি অল্প পরিমাণে। ক্ষারক বা অ্যাসিডের মধ্যে যেটি ক্ষীণ হবে তাকে প্রকৃতপক্ষে অবিয়োজিত ধরে নিতে হবে। যদি ক্ষারক BOH তীব্র হয়, তাহলে তার পরিবর্তে $B^+ + OH^-$ লেখা যাবে। আর যদি অ্যাসিড HA তীব্র হয় তাহলে তার পরিবর্তে $H^+ + A^-$ লেখা যাবে। জলকে মাধ্যম হিসেবে ব্যবহার করা হয়। যার ফলে জল থাকে প্রচুর পরিমাণে। সুতরাং লবণের আর্দ্র-বিশ্লেষে জলের গাঢ়ত্বের কোন পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ $[H_2O]$ সবসময়েই ধ্রুবক।

যে কোন উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সাম্য ধ্রুবক (K) থাকবে। আর্দ্র-বিশ্লেষের ক্ষেত্রেও থাকবে। সাম্য ধ্রুবককে $[H_2O]$ দ্বারা গুণ করলে আর একটি ধ্রুবক পাওয়া যাবে, কেননা $[H_2O]$ - ধ্রুবক। এই ধ্রুবককে **আর্দ্র বিশ্লেষ** ধ্রুবক (hydrolysis constant) বলে এবং একে K_h দ্বারা লেখা হয়।

সুতরাং $K_h = K \times [H_2O]$

নীচে তিন শ্রেণীর লবণের আর্দ্র-বিশ্লেষ বর্ণনা করা হল।

(ক) তীব্র অ্যাসিড ও ক্ষীণ ক্ষার থেকে প্রাপ্ত লবণের আর্দ্রবিশ্লেষ (hydrolysis of a salt derived from a strong acid and a weak base)—ধরা যাক লবণটি BA,

BOH ক্ষার ও HA অ্যাসিড থেকে প্রাপ্ত। HA তীব্র, BOH ক্ষীণ। HA ও BOH আয়নিত হয় নীচের মত।

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-, \quad K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$$

$$BOH \rightleftharpoons B^+ + OH^-, \quad K_b = \frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}.$$

এবং জলের ক্ষেত্রে $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-, \quad K_w = [H^+] \times [OH^-]$

এখন লবণের আর্দ্র বিশ্লেষ ঘটে, $BA + H_2O \rightleftharpoons BOH + HA$

বা $B^+ + A^- + H_2O \rightleftharpoons BOH + H^+ + A^-$ (∵ HA তীব্র এবং BOH ক্ষীণ)

বা $B^+ + H_2O \rightleftharpoons BOH + H^+$

এই বিক্রিয়ার $K = \frac{[BOH] \times [H^+]}{[B^+] \times [H_2O]}$

এবং $$Kh = K \times [H_2O] = \frac{[BOH] \times [H^+]}{[B^+]} \qquad (2.12)$$

(2.12) সমীকরণের ডানদিকে লব ও হরকে $[OH^-]$ দ্বারা গুণ করে পাওয়া যাবে

$$Kh = \frac{[BOH] \times [B^+] \times [OH^-]}{[B^+] \times [OH^-]}$$

$$= \frac{1}{\frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}} \times [H^+] \times [OH^-]$$

$$= \frac{1}{K_b} \times K_w = K_w | K_b \qquad \ldots \qquad (2.13)$$

সুতরাং এক্ষেত্রে আর্দ্র- বিশ্লেষ ধ্রুবক জলের আয়নীয় গুণফল ও ক্ষীণ ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবকের অনুপাত মাত্র।

যদি আর্দ্র-বিশ্লেষ অংক (degree of hydrolysis) h হয়, এবং লবণ গাঢ়ত্ব c হয়, তাহলে সাম্যাবস্থায়, $[BOH] = hc, \; [H^+] = hc, \; [B^+] = (1-h)c,$

(2.12) সমীকরণ অনুসারে $Kh = \frac{hc \times hc}{(1-h)c} = \frac{h^2c}{1-h} \qquad \ldots \qquad (2.14)$

(2.13) ও (2.14) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় $K_w/K_b = \frac{h^2c}{1-h} \quad \ldots \quad (2.15)$

যদি h খুব ছোট হয় তাহলে $1-h \simeq 1$, সেক্ষেত্রে $h^2c = K_w | K_b$

$$\text{বা} \quad h = \sqrt{\frac{K_w}{K_b \times c}}$$

$$[H^+] = hc = \sqrt{\frac{K_w \times c}{K_b}}$$

$$\text{বা} \quad -\log[H^+] = -\log\sqrt{\frac{K_w \times c}{K_b}}$$

$$= -\log \sqrt{K_w} + \log \sqrt{K_b} - \log \sqrt{c}$$

$$= -\frac{1}{2}\log K_w + \frac{1}{2}\log K_b - \frac{1}{2}\log c$$

বা $pH = \frac{1}{2}pK_w - \frac{1}{2}pK_b - \frac{1}{2}\log c.$

$$= 7 - \frac{1}{2}pK_b - \frac{1}{2}\log c. \quad (25°C \text{ উষ্ণতায়}) \qquad (2.16)$$

(2.16) সমীকরণ থেকে এই দ্রবণের pH পাওয়া যাবে। ক্ষারক ক্ষীণ হওয়ায় pK_b-র মান ধনাত্মক হতেই হবে। c-এর মানের উপর pH-এর মান নির্ভর করবে। মোটের উপর pH-এর মান 7 এর থেকে কম হবে। ফলে দ্রবণটি আম্লিক হবে। আয়ন বিক্রিয়া দ্বারা দেখা গেছে আর্দ্রবিশ্লেষের ফলে স্বাধীন H^+ উৎপন্ন হয়। সেদিক থেকে দেখলেও দ্রবণটি আম্লিক হবে। অতএব তীব্র অ্যাসিড ও ক্ষীণ ক্ষারক থেকে প্রাপ্ত কোন লবণ জলে দ্রাবিত করলে উৎপন্ন দ্রবণ আম্লিক হবে।

উদাহরণ 6. 10% NH_4Cl (ওজন/আয়তন) দ্রবণের pH কত? NH_4OH-এর $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ (25°C উষ্ণতায়)।

NH_4Cl-এর আণবিক ওজন = 53 5

সুতরাং $[NH_4Cl] = \frac{10 \times 1000}{53.5 \times 100} N = 1.869N.$

$$pK_b = -\log 1.8 \times 10^{-5} = 4.7447.$$

যেহেতু NH_4Cl একটি লবণ, যা পাওয়া গেছে একটি তীব্র অ্যাসিড (HCl) ও একটি ক্ষীণ ক্ষারক (NH_4OH) থেকে, অতএব (2.16) সমীকরণ এক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

$\therefore \quad pH = 7 - \frac{1}{2} \times 4.7447 - \frac{1}{2}\log 1.869$

$$= 7 - 2\ 3723 - 0.1351 = 4\ 4919 = 4.49.$$

(খ) ক্ষীণ অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষার থেকে প্রাপ্ত লবণের আর্দ্রবিশ্লেষ (hydrolysis of a salt derived from a weak acid and a strong base)--BA লবণ ক্ষীণ অ্যাসিড HA ও তীব্র ক্ষারক BOH থেকে প্রাপ্ত। লবণ BA ও ক্ষারক BOH সম্পূর্ণ বিয়োজিত..কিন্তু অ্যাসিড HA অবিয়োজিত। জলীয় দ্রবণে আর্দ্রবিশ্লেষের ফলে HA এবং BOH পাওয়া যাবে। এদের

বিয়োজন ধ্রুবক $K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$ এবং $K_b = \frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}$

আর্দ্রবিশ্লেষ হবে নীচের বিক্রিয়া অনুসারে,

$$BA + H_2O \rightleftharpoons BOH + HA$$

বা $B^+ + A^- + H_2O \rightleftharpoons B^+ + OH^- + HA$ [$\because$ BOH তীব্র ও HA ক্ষীণ]

বা $A^- + H_2O \rightleftharpoons OH^- + HA.$

বস্তুতপক্ষে বিক্রিয়া ঘটছে A^- ও H_2O-এর মধ্যে তৈরী হচ্ছে OH^- আয়ন। OH^- ক্ষারক। সুতরাং উৎপন্ন দ্রবণ ক্ষারীয় হবে। অর্থাৎ $pH > 7$.

উপরের বিক্রিয়ার $K = \frac{[OH^-] \times [HA]}{[A^-] \times [H_2O]}$

$$\text{এবং}\quad Kh = K \times [H_2O] = \frac{[OH^-]\times[HA]}{[A^-]} \quad \cdots \quad (2.17)$$

$$= \frac{[H^+]\times[OH^-]\times[HA]}{[H^+]\times[A^-]} \quad \text{[উপরে ও নীচে } H^+ \text{ দ্বারা গুণ করে]}$$

$$= \frac{[H^+]\times[OH^-]}{\frac{[H^+]\times[A^-]}{[HA]}} = \frac{K_w}{K_a} \quad \cdots \quad 2.18$$

আর্দ্রবিশ্লেষ ধ্রুবক এক্ষেত্রে জলের আয়নীয় গুণফল ও অ্যাসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের অনুপাত মাত্র। যদি আর্দ্রবিশ্লেষ অংক h হয় এবং $[BA]=c$ হয় তাহলে $[OH^-]=hc$

$$[HA]=hc \qquad [A^-]=(1-h)c$$

$$\text{এবং}\ Kh = \frac{h^2c}{1-h} \quad \cdots \quad (2.19)$$

h যদি খুব ছোট হয়, যাতে $1-h \ll 1$, তাহলে

$$h^2c = Kh \qquad \text{বা}\quad h = \sqrt{Kh/c} \quad \cdots \quad (2.20)$$

H^+ আয়ন একমাত্র HA-র বিয়োজন থেকে পাওয়া যেতে পারে।

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

$$K_a = \frac{[H^+]\times[A^-]}{[HA]} \quad \text{বা}\quad [H^+] = K_a \times \frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$\text{বা}\ -\log[H^+] = -\log K_a + \log\frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$\text{বা}\ pH = pK_a + \log\frac{[A^-]}{[HA]}$$

$[A^-]=c$ এবং $[HA]=hc=\sqrt{Kh\times c}=\sqrt{\frac{K_w\times c}{K_a}}$ বসিয়ে

$$pH = pK_a + \log\frac{c}{\sqrt{K_w\times c/K_a}}$$

$$= pK_a + \log c - \log\sqrt{\frac{K_w\times c}{K_a}}$$

$$= pK_a + \log c - \tfrac{1}{2}\log K_w - \tfrac{1}{2}\log c + \tfrac{1}{2}\log K_a$$

$$= pK_a + \tfrac{1}{2}pK_w - \tfrac{1}{2}pK_a + \tfrac{1}{2}\log c$$

$$= \tfrac{1}{2}pK_w + \tfrac{1}{2}pK_a + \tfrac{1}{2}\log c \quad \cdots \quad (2.21)$$

$$\text{বা}\ pH = 7 + \tfrac{1}{2}pK_a + \tfrac{1}{2}\log c \ (25^\circ C \text{ উষ্ণতায়}) \quad \cdots \quad (2.22)$$

(2.22) সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে pH সব সময়েই 7-এর বেশী হবে।

উদাহরণ 5. 0.1N বেনজয়িক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণের pH কত? $K_a = 6.6\times10^{-5}$, $25^\circ C$ উষ্ণতায়।

$$pK_a = -\log 6.6\times10^{-5} = 4.1805$$

[বেনজোয়িক অ্যাসিড] $= 0.1 = 10^{-1}$

$$pH = 7 + \frac{1}{2} \times 4.18 + \frac{1}{2} \log 10^{-1} = 7 + 2.09 - 0.50 = 8.59.$$

(গ) ক্ষীণ অ্যাসিড ও ক্ষীণ ক্ষারক থেকে প্রাপ্ত লবণের আর্দ্র-বিশ্লেষ (hydrolysis of a salt derived from a weak acid and a weak base)— BA লবণটি ক্ষীণ অ্যাসিড HA ও ক্ষীণ ক্ষার BOH থেকে প্রাপ্ত। HA ও BOH-এর বিয়োজন ধ্রুবক যথাক্রমে K_a ও K_b.

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}, \quad K_b = \frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}$$

BA লবণ বলে সম্পূর্ণ বিয়োজিত, কিন্তু HA ও BOH উভয়েই ক্ষীণ হওয়ায় অবিয়োজিত। BA-র আর্দ্র বিশ্লেষ ঘটে নীচের মত।

$$BA + H_2O \rightleftharpoons BOH + HA$$

বা $B^+ + A^- + H_2O \rightleftharpoons BOH + HA$

এই বিক্রিয়ার $K = \dfrac{[BOH] \times [HA]}{[B^+] \times [A^-] \times [H_2O]}$

এবং $Kh = K \times [H_2O] = \dfrac{[BOH] \times [HA]}{[B^+] \times [A^-]}$ ... (2.23)

$= \dfrac{[BOH] \times [HA]}{[B^+] \times [A^-]} \times \dfrac{K_w}{K_w}$ [উপরে ও নীচে K_w দ্বারা গুণ করে]

$= \dfrac{K_w \times [BOH] \times [HA]}{[B^+] \times [A^-] \times [H^+] \times [OH^-]}$, $\because K_w = [H^+][OH^-]$

$$= \frac{K_w}{\dfrac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]} \times \dfrac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}}$$

$= K_w / K_a \times K_b$ (2.24)

সুতরাং ক্ষীণ অ্যাসিড ও ক্ষীণ ক্ষারক থেকে প্রাপ্ত কোন লবণের আর্দ্রবিশ্লেষ ধ্রুবক জলের আয়নীয় গুণফল ও অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবকদ্বয়ের গুণফলের অনুপাতমাত্র।

তিনটি আলোচনায় দেখা যাচ্ছে যে

$Kh = K_w \| K_b$	যখন ক্ষার ক্ষীণ
$= K_w \| K_a$	যখন অ্যাসিড ক্ষীণ
$= K_w / K_a \times K_b$	যখন উভয়েই ক্ষীণ।

সবক্ষেত্রেই আয়নীয় গুণফলের নীচে ক্ষীণ উপাদানের বিয়োজন ধ্রুবক থাকছে। এখন যদি আর্দ্র-বিশ্লেষ অংক হয় h এবং $[BA] = c$ হয়,

তাহলে $[BOH] = hc$, $[HA] = hc$, $[B^+] = (1-h) \times c$ এবং $[A^-] = (1-h) \times c$ হবে।

$$Kh = \frac{hc \times hc}{(1-h) \times c \times (1-h) \times c} = \frac{h^2}{1-h^2} \quad \cdots \quad (2.25)$$

h এমনিতেই ছোট হয়, h^2 আরও ছোট হবে। $1 - h^2 \approx 1$.

সুতরাং $h^2 = Kh$

বা $h = \sqrt{Kh} = \sqrt{\dfrac{K_w}{K_a \times K_b}}$ ... (2.26)

দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়নের উৎস HA. এর বিয়োজনের ফলে H^+ উৎপন্ন হবে। pH পাওয়া যাবে নীচের সমীকরণ অনুসারে।

$$pH = pK_a + \log \frac{\text{লবণ গাঢ়ত্ব}}{\text{অ্যাসিড গাঢ়ত্ব}}$$

$$= pK_a + \log \frac{c}{hc}, \; [c(1-h) \approx c. \text{ যখন } h \text{ খুব ছোট }]$$

$$= pK_a - \log h$$

$$= pK_a - \log \sqrt{\frac{K_w}{K_a \times K_b}}$$

$$= \tfrac{1}{2}pK_w + \tfrac{1}{2}pK_a - \tfrac{1}{2}pK_b \quad \ldots \quad (2.27)$$

$$= 7 + \tfrac{1}{2}pK_a - \tfrac{1}{2}pK_b \text{ (} 25^\circ C \text{ উষ্ণতায়)} \quad \ldots \quad (2.28)$$

যদি $pK_a > pK_b$ হয় অর্থাৎ $K_a < K_b$ হয় তাহলে $pH > 7$ হবে, অর্থাৎ দ্রবণ ক্ষারীয় হবে এবং $K_a > K_b$ হলে $pH < 7$ হবে, অর্থাৎ দ্রবণ আম্লিক হবে।

উদাহরণ 7. 5% অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটের জলীয় দ্রবণের pH নির্ণয় কর। 25°C উষ্ণতায় $K_{CH_3COOH} = 1.75 \times 10^{-5}$ এবং $K_{NH_4OH} = 1.81 \times 10^{-5}$.

$$pK_a = -\log 1.75 \times 10^{-5} = 4.757$$

$$pK_b = -\log 1.81 \times 10^{-5} = 4.7423$$

$$\therefore \; pH = 7 + \tfrac{1}{2} \times 4.757 - \tfrac{1}{2}4.7423$$

$$= 7 + 2.3785 - 2.3711 = 7.0074.$$

বাফার দ্রবণ (Buffer Solutions)

2.4a. **বাফার দ্রবণ** (buffer solutions)—কোন দ্রবণে সামান্য অ্যাসিড বা ক্ষারক যোগ করলেই তার pHএর বেশ খানিকটা পরিবর্তন ঘটে অর্থাৎ H^+ আয়ন গাঢ়ত্বের বেশ খানিকটা পরিবর্তন হয়। কিন্তু অনেক দ্রবণ আছে, যে দ্রবণে অ্যাসিড বা ক্ষারক যোগ করার ফলে pH যতটা পরিবর্তিত হওয়া উচিত তার থেকে অনেক কম পরিবর্তিত হয়। এমন কি সেই সমস্ত দ্রবণে অল্প অ্যাসিড বা ক্ষারক যোগ করার ফলে pH এর বাস্তবিকপক্ষে কোন পরিবর্তন হয় না। এই ধরণের দ্রবণকে **বাফার দ্রবণ** বলা হয়। সুতরাং বাফার দ্রবণ বলতে আমরা বুঝি **এমন দ্রবণ যার pH এর উপর যুক্ত অ্যাসিড বা ক্ষারকের প্রভাব সব থেকে কম।**

সাধারণত ক্ষীণ অ্যাসিড ও তার লবণ কিম্বা ক্ষীণ ক্ষারক ও তার লবণের মিশ্রণে

তৈরী হয় বাফার দ্রবণ। যেমন NaH_2PO_4 (ক্ষীণ অ্যাসিড) ও Na_2HPO_4 (লবণ) মিশ্রণ, NH_4OH (ক্ষীণ ক্ষারক) ও NH_4Cl (লবণ) মিশ্রণ প্রভৃতি। বাফার দ্রবণের pH সাধারণত অ্যাসিড বা ক্ষারক যোগে কম আক্রান্ত হয়। এর কারণ কি? ধরা যাক্ HA একটি ক্ষীণ অ্যাসিড ও BA তার লবণ। এদের মিশ্রণে একটি বাফার হল। HA ক্ষীণ অ্যাসিড, সুতরাং বিয়োজন হবে খুবই সামান্য $HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$

এই বিয়োজন লঘুতা সূত্র মেনে চলবে। কিন্তু BA লবণ হওয়ায় সম্পূর্ণ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে। $BA = B^+ + A^-$

BA লবণ থেকে A^- পাওয়া যায়। A^- এর উপস্থিতি হেতু HAর বিয়োজন অংক আরও কমে যাবে। ফলে এই বাফার দ্রবণে H^+ আয়নের পরিমাণ খুবই কম হবে।

এখন যদি কিছু পরিমাণ অ্যাসিড বাইরে থেকে এই দ্রবণে যোগ করা হয়, তাহলে, H^+ আয়নগাঢ়ত্ব বেড়ে যাবে বলেই আশা করা যায়। কিন্তু যুক্ত H^+, A^- আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে তৈরী করে HA।

$$H^+ + A^- \rightleftharpoons HA$$

HA ক্ষীণ হওয়ায় উৎপন্ন HA প্রায় অবিয়োজিত অবস্থায় থাকবে। অতএব যুক্ত H^+ আয়নের প্রভাব দ্রবণের উপর লক্ষ্য করা যাবে না। ফলে pH একই থাকবে।

যদি এই বাফার দ্রবণে কিছু পরিমাণ ক্ষারক যোগ করা যায় অর্থাৎ কিছু পরিমাণ OH^- আয়ন যোগ করা যায়, তাহলে OH^- আয়ন দ্রবণে উপস্থিত H^+ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে তৈরী করবে অবিয়োজিত H_2O অণু। H^+, OH^- আয়নের সাথে যুক্ত হওয়ায় দ্রবণে H^+ আয়নের পরিমাণ কমে যাবে। HA অণু বিয়োজিত হয়ে আরও H^+ আয়ন উৎপন্ন করবে। ফলে H^+ আয়নগাঢ়ত্বের কোন প্রকৃত পরিবর্তন হবে না, অর্থাৎ pH একই থাকবে।

ক্ষীণ ক্ষারক ও তার লবণের মিশ্রণ যদিও বাফার দ্রবণ তবু তাদের ব্যবহার খুবই সীমিত। অ্যাসিড বাফারের ব্যবহারই বেশী।

2.4b. **বাফার দ্রবণের pH ও বাফার ক্ষমতা** (pH and buffer capacity of buffer solutions)—HA অ্যাসিডের বিয়োজন হয়

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$$

$$\text{বা} \quad [H^+] = K_a \times \frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$\text{বা} \quad pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

$$= pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অ্যাসিড}]} \qquad \ldots \qquad (2.29)$$

এই সমীকরণ দ্বারা কোন বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় করা যায়। pK_a ধ্রুবক। সুতরাং বাফার দ্রবণের pH, [লবণ]/[অ্যাসিড] অনুপাতের উপর নির্ভরশীল। যদি এই অনুপাত 1 হয় তাহলে $pH = pK_a$. যদি অনুপাত হয় 10 তাহলে $pH = pK_a + 1$, আর যদি 1/10 হয় তাহলে $pH = pK_a - 1$. সাধারণত [লবণ]/[অ্যাসিড] অনুপাত 0.1 (=1/10) থেকে 10 পর্যন্ত দ্রবণের বাফার ক্ষমতা ভাল থাকে। অতএব যে কোন বাফারের pH এর মান $pK_a - 1$ থেকে $pK_a + 1$ পর্যন্ত হতে পারে।

বাফার ক্ষমতা (buffer capacity) বলতে সাধরণত বোঝা যায় দ্রবণ কতটা পরিমাণ বাফার হিসেবে কাজ করতে পারে। যে কোন বাফারের বাফার ক্ষমতা সর্বাধিক হয় যখন [লবণ]/[অ্যাসিড] = 1 হয়। অর্থাৎ লবণ ও অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব অনুপাত 1 হলে অ্যাসিড বা ক্ষারক যোগ করার ফলে pH এর পরিবর্তন হবে সব থেকে কম। pK_a ধ্রুবক হওয়ায় বাফার ক্ষমতা পুরোপুরি লবণ-অ্যাসিড গাঢ়ত্ব অনুপাতের উপর নির্ভর করে।

সূচক (Indicator)

2.5a. অ্যাসিড-ক্ষারক সূচক (acid-base indicator)—কোন অ্যাসিডকে ক্ষার দ্বারা প্রশমনের সময়, ধরা যাক HClকে NaOH দ্রবণ দ্বারা প্রশমনের সময়, যদি এক ফোঁটা ফিনলথ্যালিন (phenolphthalein) দ্রবণ যোগ করা হয়, তাহলে প্রথম অবস্থায় HCl দ্রবণে কোন রং দেখা যাবে না। NaOH যোগ করার ফলে pH ক্রমশ বাড়তে থাকবে, কারণ ক্ষার অ্যাসিডের H^+কে অপসারিত করে এবং যখন HCl সম্পূর্ণ প্রশমিত হবে তখন এক ফোঁটা বেশী NaOH যোগ করলে দ্রবণের রং হবে বেগ্‌নী। এই রং-এর উদ্ভব হয় ফিনলথ্যালিন থেকে। অ্যাসিড দ্রবণে ফিনলথ্যালিন রং-হীন আর ক্ষারীয় দ্রবণে বেগ্‌নী রং-এর। অতএব রং পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে একটি বিক্রিয়ার সমাপ্তি সূচিত হবে। এইজন্য ফিনলথ্যালিনকে একটি **অ্যাসিড-ক্ষারক সূচক** (acid base indicator) বলা হয়। **যে পদার্থ নিজের রং পরিবর্তনের দ্বারা কোন অ্যাসিড-ক্ষার বিক্রিয়ার সমাপ্তি সূচনা করে তাই অ্যাসিড-ক্ষারক সূচক।**

ফিনলথ্যালিন ছাড়াও আরও বহু অ্যাসিড-ক্ষারক সূচক আছে, যেমন মিথাইল অরেঞ্জ, মিথাইল রেড প্রভৃতি। যে কোন বিক্রিয়ায় যে কোন সূচক ব্যবহৃত হয় না। নির্দিষ্ট সূচক নির্দিষ্ট বিক্রিয়ায় ব্যবহার করা যায়। যেমন তীব্র ক্ষারককে যদি তীব্র অ্যাসিড দ্বারা প্রশমিত করা হয় তাহলে যে কোন সূচক ব্যবহার করা চলে। কিন্তু যদি তীব্র ক্ষারককে ক্ষীণ অ্যাসিড দ্বারা প্রশমিত করা হয় তাহলে ফিনলথ্যালিন ব্যবহার করে যে ফল পাওয়া যাবে মিথাইল অরেঞ্জ বা মিথাইল রেড ব্যবহার করে

সেই ফল পাওয়া যাবে না। এক্ষেত্রে ফিনলথ্যালিন ব্যবহার করা হয়। আর তীব্র অ্যাসিড-ক্ষীণক্ষারক বিক্রিয়ায় মিথাইল অরেঞ্জ বা মিথাইল রেড ব্যবহার করা হয়। এর কারণ এই যে সূচক পদার্থগুলি এক একটি নির্দিষ্ট pH-এ রং পরিবর্তন করে। যেমন মিথাইল অরেঞ্জ pH 4-এর কাছাকাছি এবং ফিনলথ্যালিন pH 9-এর কাছাকাছি রং পরিবর্তন করে। রং পরিবর্তনের এই pH খুবই প্রয়োজনীয়। এই pH জানা থাকলে তবেই ঠিক বিক্রিয়ায় ঠিক সূচক ব্যবহার করা সম্ভব হয়। উপরের উদাহরণ থেকে দেখা যাচ্ছে সূচকগুলি সাধারণত হয় অ্যাসিড pH নয় ক্ষারীয় pH-এ রং পরিবর্তন করে। এখন তীব্র ক্ষারক ও ক্ষীণ অ্যাসিডের বিক্রিয়ার ফলে যে লবণ উৎপন্ন হয় তার আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটবে কিছু পরিমাণে এবং কিছু পরিমাণ তীব্র ক্ষারক দ্রবণে দেখা দেবে। অতএব বিক্রিয়া সমাপ্তিতে দ্রবণটি কিছু পরিমাণে ক্ষারীয় হবে। সেইজন্যই এই বিক্রিয়ায় ক্ষারীয় pH-এ রং পরিবর্তনশীল সূচক ব্যবহার করতে হবে। একই রকম যুক্তি দিয়ে দেখানো যায় বিপরীত ক্ষেত্রে অ্যাসিড pH-এর সূচক ব্যবহার করতে হবে।

2.5b. pH পরিমাপ (measurement of pH)—উপরের আলোচনা থেকে বোঝা যাচ্ছে যে বিভিন্ন সূচক বিভিন্ন pH-এর সূচনা করে। প্রকৃতপক্ষে এক একটি সূচক এক একটি pH স্তরে রং পরিবর্তন করে। যেমন ব্রোমোফিনল ব্লু 3.0 – 4.6 pH স্তরে রং পরিবর্তিত হয়। রং-এর পরিবর্তন সুরু হয় 3 pH-এ, শেষ হয় 4.6 pH-এ। 3.0 থেকে 4.6 এর মধ্যে বিভিন্ন pH-এ বিভিন্ন রং পাওয়া যাবে। এই রংগুলিকে কাগজে ধরে রাখলে তুলনা করে দ্রবণের pH পাওয়া যাবে —দ্রবণে এক ফোঁটা সূচক দিলে যে রং হয়, দেখতে হবে কাগজের কোন রং-এর সাথে তার মিল আছে অথবা সূচক মাখানো একটি কাগজ, অর্থাৎ **সূচক কাগজ** (indicator paper) দ্রবণে ডুবিয়ে যে রং পাওয়া গেল তাকে কাগজে ধরে রাখা রং-এর সাথে তুলনা করলেই দ্রবণের pH জানা যাবে।

তালিকা। অ্যাসিড ক্ষারক সূচক।

সূচক	অ্যাসিড রং	ক্ষারীয় রং	pH
মিথাইল অরেঞ্জ	লাল	হলুদ	3.1– 4.4
মিথাইল রেড	লাল	হলুদ	4.2– 6.3
ব্রোমোক্রেসল পার্পল্	হলুদ	পার্পল্	5.2– 6.8
ফিনল রেড	হলুদ	লাল	6.8– 8.4
ফিনলথ্যালিন	রংহীন	লাল	8.3–10.0

2.5c. সূচক পদার্থের প্রকৃতি (nature of the indicator)—সূচক পদার্থগুলি সাধারণত জৈব যৌগিক পদার্থ। এই পদার্থগুলি একাধিক টটোমেরিক আকারে থাকে। এক একটি টটোমারের এক এক রকম রং। সাধারণত দেখা

যায় একটা নির্দিষ্ট pH বা pH-স্তরের আগে ও পরে এক একটি টটোমার স্থায়ী হয়। টটোমেরিক পরিবর্তন হয় নির্দিষ্ট pH-স্তরে। সেইজন্যই একটি নির্দিষ্ট pH স্তরে রং পরিবর্তন হয়। আবার সূচক পদার্থগুলি, দেখা যায়, অত্যন্ত ক্ষীণ অ্যাসিড। তারা অল্প পরিমাণে বিয়োজিত হয়। যদি HIn কোন সূচক হয়,

তাহলে $$HIn \rightleftharpoons H^{+} + In^{-}$$

হবে। In^{-} = সূচক আয়ন। যেহেতু H^{+}-এর কোন রং নেই অতএব In^{-} রঙিন হবে। সাধারণত HIn ও In^{-}-এর রং একই হয়। যদি HIn-এর টটোমার $HIn*$ হয়, তাহলে

$$HIn* \rightleftharpoons H^{+} + In*^{-}$$

হবে। পরিবর্তিত রং $In*^{-}$-এর জন্য।

নির্দিষ্ট pH-এ পরিবর্তন হতে পারে নীচের মত,

$$HIn \rightleftharpoons HIn* \quad \text{বা} \quad In^{-} \rightleftharpoons In*^{-}$$

খুবই ক্ষীণ অ্যাসিড হওয়ায় HIn অত্যন্ত কম পরিমাণে বিয়োজিত হয়, অর্থাৎ In^{-} অত্যন্ত কম পরিমাণে থাকে। যা থাকে তা প্রায় সম্পূর্ণই $In*^{-}$-এ পরিণত হয়। অতএব সাম্যাবস্থায় মোটামুটি লেখা যায়,

$$HIn \rightleftharpoons H^{+} + In*^{-}$$

$$\text{সাম্য ধ্রুবক } K_{In} = \frac{[H^{+}] \times [In*^{-}]}{[HIn]} \qquad (2.30)$$

K_{In}কে **সূচক ধ্রুবক** (indicator constant) বলা হয়।

(2.30) সমীকরণ থেকে $[H^{+}] = K_{In} \times \frac{[HIn]}{[In*^{-}]}$

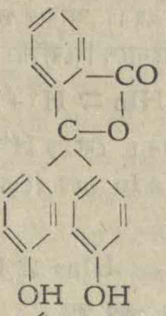
বা $-\log [H^{+}] = -\log K_{In} + \log \frac{[In*^{-}]}{[HIn]}$

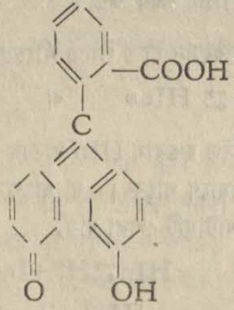
$$\text{বা} \quad pH = pK_{In} + \log \frac{[In*^{-}]}{[HIn]} \quad \cdots \qquad (2.31)$$

pK_{In}কে **সূচক এক্সপোনেন্ট** (indicator exponent) বলা হয়।

$[In*^{-}]$ এবং [HIn] বিক্রিয়ার পরের ও আগের রং নির্দেশ করে। যখন $[In*^{-}] = [HIn]$ অর্থাৎ যখন দুটি রং-এর পরিমাত্রা (intensity) একই হবে তখন $pH = pK_{In}$. এইভাবে K_{In} মাপা যায়। সাধারণত $In*^{-}$ ও HIn এর একটি অপরটির দশগুণ পর্যন্ত থাকলেও রং পরিবর্তন ভালোই লক্ষ্য করা যায়। কিন্তু তার পরে রংয়ের পার্থক্য খুব একটা নজরে আসে না। অর্থাৎ সেক্ষেত্রে যে কোন একটি রংই হবে—pH-এর অল্প পরিবর্তনে রং-এর পরিবর্তন হবে না। সুতরাং ব্যবহারিক স্তরে $pH = pK_{In} \pm 1$, কেননা $[In*^{-}] = 10[HIn]$ কিম্বা

[HIn]=10[In*⁻]. অর্থাৎ pKin − 1 থেকে pKin + 1 পর্যন্ত pH-এ রং পরিবর্তন ভালোভাবেই বোঝা যাবে।

ফিনলথ্যালিন অ্যাসিডে থাকে  আকারে।

এবং ক্ষারীয় দ্রবণে থাকে  আকারে।

2·5d অ্যাসিড ক্ষারক টাইট্রেশন (acid base titration) :

(ক) **তীব্র অ্যাসিড-তীব্র ক্ষারক** (strong acid-strong base)—ধরা যাক্ 0.1N HCl কে 0.1N NaOH দ্বারা প্রশমিত করা হচ্ছে। 10 ঘ.সে. 0.1N HCl বিকারে নেওয়া হল। এই দ্রবণের pH=1. এইবার ক্ষার যোগ করার হিসেব নীচের মত করা যেতে পারে।

0.1N অ্যাসিড	যুক্ত ক্ষার (0.1N)	অ্যাসিড শক্তি	pH
c.c.	c.c.	N	
10	0	0.1	1
	1	0.082	1.01
	2	0.067	1.17
	3	0.054	1.27
	4	0.043	1.37
	5	0.033	1.48
	6	0.025	1.60
	7	0.018	1.74
	8	0.011	1.96
	9	0.005	2.30

9.5	0.0026	2.59
9 9	0.0005	3.30
9.95	0.00025	3.60
10.00	0.0000	7.00
10.05	0.00025 (ক্ষার)	10.40

তালিকা থেকে দেখা যাচ্ছে প্রশমনের পূর্বের ফোঁটা পর্যন্ত অর্থাৎ যখন 10 ঘ.সে. HCl-এ 9.95 ঘ.সে. NaOH যোগ করা হয়েছে তখন পর্যন্ত pH বৃদ্ধি অত্যন্ত কম। কিন্তু তারপরেই দু ফোঁটা NaOH (0.1 ঘ. সে) যোগ করার ফলে pH বৃদ্ধি ঘটে 3.6 থেকে 10.4. এই স্তরে যে কোন সূচকই রং পরিবর্তন করবে এবং রং পরিবর্তন অত্যন্ত তীক্ষ্ণ হবে। এই জন্য এই ধরণের টাইট্রেশনে যে কোন সূচক ব্যবহার করা যায়।

(খ) **ক্ষীণ অ্যাসিড-তীব্র ক্ষারক** (weak acid-strong base)—অ্যাসিড ক্ষীণ হলে তার বিয়োজন সম্পূর্ণ হয় না। বিয়োজন অংক থেকে নির্ণয় করতে হয় pH. সাধারণভাবে টাইট্রেশনের লঘুতায় ক্ষীণ অ্যাসিড সব সময়েই আংশিক বিয়োজিত থাকে। উপরন্তু ক্ষার যোগ করার ফলে লবণ উৎপন্ন হয়। তাতে বাফারের সৃষ্টি হয় এবং pH পরিবর্তন কম হয়। যেহেতু অ্যাসিড সেই জন্য pH অবশ্য সব সময়েই 7এর কম হবে। তীব্র ক্ষার এক ফোঁটা (0.05 ঘ.সে. ধরা যাক 0.1N) বেশী হলেই pH 10 এর কাছাকাছি হবে। অতএব সমাপ্তি বিন্দুতে (end point) মোটামুটি তীক্ষ্ণ pH পরিবর্তন এবং স্বভাবতই মোটামুটি তীক্ষ্ণ রং পরিবর্তন পাওয়া যাবে। টাইট্রেশনের ফলে উৎপন্ন লবণের আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটে কিছু পরিমাণ তীব্র ক্ষার উৎপন্ন হবে। ফলে প্রশমন বিন্দুতে pH 7এর কিছু বেশী হবে। এই কারণে এক্ষেত্রে এমন সূচক ব্যবহার করতে হবে যার রং পরিবর্তন হয় pH 7 এর উপরে। যদি অ্যাসিড তীব্র হয় আর ক্ষারক ক্ষীণ হয় তাহলে pH 7এর নীচে রং পরিবর্তন করে এমন সূচক ব্যবহার করতে হবে।

(গ) **ক্ষীণ অ্যাসিড-ক্ষীণ ক্ষারক** (weak acid-weak base)—উভয়েই ক্ষীণ হওয়ায় এক্ষেত্রে তীক্ষ্ণ সমাপ্তি বিন্দু পাওয়া যায় না, কারণ সমাপ্তি বিন্দুতে pH উল্লম্ফন (যেমন 3.6 থেকে 10 বা 7 থেকে 10 প্রভৃতি) হয় না। সুতরাং সূচক পদ্ধতিতে ক্ষীণ অ্যাসিডকে ক্ষীণ ক্ষারক দ্বারা টাইট্রেট করা যায় না।

বিভিন্ন টাইট্রেশনে ব্যবহারযোগ্য সূচক

টাইট্রেশন	সূচক	রং পরিবর্তনের pH
তীব্র অ্যাসিড - তীব্র ক্ষার	যে কোনো সূচক	4—10
তীব্র অ্যাসিড—ক্ষীণ ক্ষার	মিথাইল অরেঞ্জ	4
ক্ষীণ অ্যাসিড—তীব্র ক্ষার	ফিনলথ্যালিন	9
ক্ষীণ অ্যাসিড—ক্ষীণ ক্ষার	কোন সূচকই ব্যবহারযোগ্য নয়	—

2.5e. ভালো সূচকের গুণাবলী (criteria of a good indicator)—এতক্ষণ পর্যন্ত যে আলোচনা করা হয়েছে তাতে দেখা যায় যে, কোন অ্যাসিড-ক্ষারক টাইট্রেশনে যে সূচক ব্যবহার করা হবে তার কতকগুলি নির্দিষ্ট গুণ থাকা চাই। যেমন, সূচক মাত্রেই হবে ক্ষীণ অ্যাসিড। অনেক সময়ে ক্ষীণ ক্ষারকও সূচক হতে পারে। এদের ক্ষেত্রে লঘুতা সূত্র প্রযোজ্য হবে। রং পরিবর্তন হবে তীক্ষ্ণ।

সূচকের দুটি গঠনের মধ্যে আছে টটোমেরিক সাম্য। টটোমেরিক সাম্য খুব দ্রুত প্রতিষ্ঠিত হতে হবে। দুটি টটোমারের রং এর মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য থাকা চাই। রং পরিবর্তন কেবলমাত্র টটোমেরিক পরিবর্তনের জন্যই হবে। রং পরিবর্তন বা টটোমেরিক পরিবর্তন কেবলমাত্র $[H^+]$ এর উপর নির্ভরশীল হবে।

2.6 অ্যাসিডমিতি ও ক্ষারমিতি
(Acidimetry and alkalimetry)

অ্যাসিডের ক্ষারগ্রহিতা (basicity of acids) বলতে সাধারণত অ্যাসিডের একটি অণুর মধ্যে কটি প্রতিস্থাপনযোগ্য হাইড্রোজেন আছে অথবা অ্যাসিডের একটি অণুর সরাসরি বা স্তর বিয়োজনের ফলে কটি প্রোটন উৎপন্ন হয় বোঝা যায়।যেমন HCl, HNO_3, CH_3COOH প্রভৃতি অ্যাসিডের ক্ষারগ্রাহিতা এক ; H_2SO_4, $H_2C_2O_4$ প্রভৃতি অ্যাসিডের ক্ষারগ্রাহিতা দুই।

ক্ষারকের অম্লগ্রাহিতা বা অ্যাসিডগ্রাহিতা (acidity of a base) বলতে সাধারণত বোঝায় একটি ক্ষারক অণু কটি প্রোটন গ্রহণ করতে পারে অথবা একটি ক্ষারক অণু কটি হাইড্রক্সাইড উৎপন্ন করে। যেমন $NaOH$, KOH প্রভৃতি এক-আম্লিক (mono acidic) ; $Ca(OH)_2$, $Ba(OH)_2$ প্রভৃতি দ্বিআম্লিক ক্ষারক।

অ্যাসিডের তুল্যাংকভার (equivalent weight of an acid) একটি বিশুদ্ধ সংখ্যা। এই সংখ্যা অ্যাসিডের আণবিক ওজন ও তার ক্ষারগ্রাহিতার অনুপাতের সমান। যেমন H_3PO_4 এর আণবিক ওজন 98 এবং ক্ষারগ্রাহিতা 3 ; অতএব H_3PO_4 এর তুল্যাংকভার হবে 98 : 3 বা 32.67.

ক্ষারকের তুল্যাংকভার (equivalent weight of a base) একটি বিশুদ্ধ সংখ্যা। এই সংখ্যা ক্ষারকের আণবিক ওজন ও তার অম্লগ্রাহিতার অনুপাতের সমান। যেমন $Ca(OH)_2$ এর আণবিক ওজন 74 এবং অ্যাসিডগ্রাহিতা 2 হওয়ায় তার তুল্যাংকভার হবে $74 : 2 = 37$.

অ্যাসিড বা ক্ষারের শক্তি সাধারণত **নর্ম্যালিটি** (normality), **মোলারিটি** (molarity) বা **গ্রাম প্রতি লিটার** (grams per litre) এককে প্রকাশ করা হয়। এক লিটার দ্রবণে যত গ্রাম তুল্যাংক দ্রাব্যপদার্থ দ্রবীভূত থাকে সেই গ্রাম তুল্যাংকের সংখ্যাকে ঐ দ্রবণের নর্ম্যাল শক্তি বলা হয়। যেমন 0.1N HCl

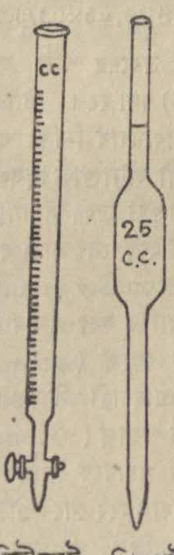
দ্রবণ বলতে বোঝা যায় 1 লিটার দ্রবণে 0.1 গ্রাম তুল্যাংক HCl দ্রবীভূত আছে। কোন দ্রবণের মোলার শক্তি 1 লিটার দ্রবণে কত গ্রাম অণু দ্রাব্য দ্রবীভূত আছে তাই বোঝায়। আর প্রতি লিটার দ্রবণে যত গ্রাম দ্রাব্য দ্রবীভূত থাকে তাই তার গ্রাম প্রতি লিটার এককে শক্তি। নর্ম্যালিটি N, মোলারিটি M এবং গ্রাম প্রতি লিটার g/l দ্বারা লেখা হয়।

অ্যাসিড ও ক্ষারকের পরস্পরের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে প্রশমন (neutralisation) হয়। পারস্পরিক প্রশমনের জন্য কত অ্যাসিডের জন্য কত ক্ষারক প্রয়োজন হয় তা জানা যায় রাসায়নিক সমীকরণ থেকে। যেমন NaOH ও HCl এর পারস্পরিক প্রশমনের জন্য প্রতি 40 গ্রাম NaOH এর জন্য 36.5 গ্রাম HCl প্রয়োজন হয়।

$$\underset{40}{NaOH} + \underset{36.5}{HCl} = NaCl + H_2O$$

NaOH এবং H_2SO_4 এর পারস্পরিক প্রশমন বিক্রিয়ায় দেখা যায় 40 গ্রাম NaOH এর জন্য 49 গ্রাম H_2SO_4 প্রয়োজন হয়। 40, 36.5 এবং 49 যথাক্রমে NaOH, HCl এবং H_2SO_4এর তুল্যাংকভার। এই বিক্রিয়াগুলি থেকে বোঝা যায় যে এক তুল্যাংক ক্ষারের প্রশমনের জন্য সব সময়েই এক তুল্যাংক অ্যাসিডের প্রয়োজন হয়। যদি S_1N ক্ষার দ্রবণের V_1 ঘ. সে. এর সম্পূর্ণ প্রশমনের জন্য S_2N অ্যাসিড দ্রবণের V_2 ঘ. সে. প্রয়োজন হয় তাহলে সহজেই নির্ণয় করা যায় যে $V_1S_1 = V_2S_2$. অ্যাসিড বা ক্ষারের প্রশমনের সময় এই সমীকরণই ব্যবহার করা হয়।

অ্যাসিড-ক্ষার প্রশমনের জন্য টাইট্রেশন (titration) পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিতে নির্দিষ্ট পরিমাণ অ্যাসিড বা ক্ষারের মধ্যে ধীরে ধীরে ক্ষার বা অ্যাসিড যোগ করা হয়। এক বা দুই ফোঁটা সূচক ব্যবহার করা হয়। এই সূচক প্রশমন বিন্দুতে রং পরিবর্তন করে। তার দ্বারা প্রশমন বিন্দু নির্ণয় করা যায়। পিপেটের (pipette) সাহায্যে নির্দিষ্ট আয়তন কোন দ্রবণ মাপা যায়। বিউরেটের সাহায্যে অপরটি ধীরে ধীরে যোগ করা যায়। বিউরেটে দ্রবণের প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থান থেকে যুক্ত দ্রবণের আয়তন জানা যায়। টাইট্রেশনের সময়ে সাধারণত একটি দ্রবণের শক্তি জানা থাকে। অপরটির শক্তি $V_1 S_1 = V_2 S_2$ সমীকরণ অনুসারে নির্ণয় করা যায়।



বিউরেট পিপেট

চিত্র নং ২

কোন অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণের নর্ম্যাল শক্তিকে ঐ অ্যাসিড বা ক্ষারের

ক্ষারগ্রাহিতা বা অ্যাসিডগ্রাহিতা দ্বারা ভাগ করলে পাওয়া যায় মোলার শক্তি। আর নর্ম্যাল শক্তিকে তুল্যাংকভার দ্বারা গুণ করলে পাওয়া যায় গ্রাম প্রতি লিটার এককে শক্তি।

উদাহরণ 8. 50 ঘ. সে. HCl দ্রবণে 0.113N ক্ষার দ্রবণের 25 ঘ. সে. যোগ করার ফলে উৎপন্ন দ্রবণকে সম্পূর্ণ প্রশমিত করতে 0.25N অ্যাসিডের 5 ঘ. সে. এর প্রয়োজন হয়। HCl এর শক্তি কত ?

0.25 N অ্যাসিডের 5 ঘ. সে. সব সময়েই 0.25N ক্ষারের 5 ঘ. সে. প্রশমিত করবে। এই 5 ঘ. সে. 0.25 N ক্ষার দ্রবণ, ধরা যাক, 0.113 N ক্ষার দ্রবণের X ঘ. সে. এর সমতুল্য হবে। তাহলে $V_1S_1 = V_2S_2$ সমীকরণ অনুসারে $X \times 0.113\text{N} = 5$ ঘ. সে.$\times 0.25$ N. অর্থাৎ $X = 10.96$ ঘ. সে.। এই পরিমাণ ক্ষার উদ্বৃত্ত হওয়ায় 50 ঘ. সে. HCl এর প্রশমনের জন্য প্রয়োজন হয় 25 − 10.96 বা 14.04 ঘ. সে. 0.113N ক্ষার দ্রবণ। যদি HCl এর শক্তি S হয় তাহলে $V_1S_1 = V_2S_2$ সমীকরণ অনুসারে $S = \frac{14.04 \times 0.113}{50}\text{N} = 0.3171\text{N}$.

আয়তন পরিবর্তনের ফলে কোন দ্রবণের শক্তি কত পরিবর্তিত হবে তাও $V_1S_1 = V_2S_2$ সমীকরণ অনুসারে নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ 9. 0.1N 5 ঘ. সে. কোন দ্রবণে 25 ঘ. সে. জল মেশালে উৎপন্ন দ্রবণের শক্তি কত হবে ?

এখানে $V_1 = 5$ ঘ. সে., $S_1 = 0.1\text{N}$, $V_2 = 30$ ঘ. সে., $S_2 = ?$

$S_2 = V_1S_1/S_2 = 5 \times 0.1/30\text{N} = 0.0167$ N.

কোন দ্রবণের শক্তি জানা থাকলে তাকে **স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণ** (standard solution) বলা হয়। স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণ যদি সরাসরি প্রস্তুত করা হয়, যেমন জানা পরিমাণ দ্রাব্যপদার্থ নির্দিষ্ট আয়তন দ্রবণে দ্রাবিত করলে যে দ্রবণ পাওয়া যায় তাকে **প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণ** (primary standard solution) বলে। আর যে সমস্ত স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণ সরাসরি প্রস্তুত করা যায় না, কিন্তু অন্য কোন স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণের সহায়তায় টাইট্রেশনের দ্বারা যার শক্তি জানা যায়, তাদেরকে সেকেণ্ডারী স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণ (secondary standard solution) বলে। যেসব পদার্থকে দ্রাবকে সরাসরি দ্রাবিত করে প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণ প্রস্তুত করা যায় তারা **প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড পদার্থ** (primary standard substance) এবং যে সব পদার্থকে সরাসরি প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড দ্রবণে পরিণত করা যায় না তারা **সেকেণ্ডারী স্ট্যাণ্ডার্ড পদার্থ** (secondary standard substance)। প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড হতে গেলে পদার্থকে সুস্থিত, বিশুদ্ধ এবং দ্রাবকে সম্পূর্ণভাবে দ্রবণীয় হতে হবে। অন্যথায় পদার্থ হবে সেকেণ্ডারী স্ট্যাণ্ডার্ড পদার্থ। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় অ্যাসিডের মধ্যে অক্সালিক অ্যাসিড এবং ক্ষারকের মধ্যে সোডিয়াম কার্বনেট প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড পদার্থ। কিন্তু HCl, H_2SO_4, NaOH প্রভৃতি পদার্থ সেকেণ্ডারী স্ট্যাণ্ডার্ড পদার্থ।

উদাহরণ 10. 1.08 গ্রাম অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডকে 62 ঘ.সে. N/2 NaOH সহযোগে অ্যামোনিয়া মুক্ত হওয়া পর্যন্ত ফোটানো হল। মিশ্রণের অবশিষ্ট ক্ষারককে প্রশমিত করতে 44 ঘ. সে. N/4 HCl প্রয়োজন হয়। লবণে অ্যামোনিয়ার শতকরা পরিমাণ নির্ণয় কর। (ক. বি. 1962)

44 ঘ. সে. N/4 HCl ≡ 22 ঘ. সে. N/2 NaOH. অতএব NH_4Cl এর সাথে যে NaOH বিক্রিয়া করেছে তার পরিমাণ হবে 62 − 22 = 40 ঘ. সে.। NH_4Cl ও NaOH এর বিক্রিয়া হয় নীচের মত।

$$NH_4Cl + NaOH = NH_3 + NaCl + H_2O$$

বিক্রিয়া অনুসারে 40 গ্রাম NaOH 17 গ্রাম NH_3 উৎপন্ন করে। এখন 40 ঘ. সে. N/2 NaOH দ্রবণে NaOH এর পরিমাণ 40 × 40/2/1000 = 0.8 গ্রাম। এই পরিমাণ NaOH দ্বারা মুক্ত NH_3-র পরিমাণ হবে 17 × 0.8/40 = 0.34 গ্রাম। সুতরাং প্রদত্ত লবণে NH_3-র পরিমাণ = 0.34 × 100/1.08 = 31.78.

উদাহরণ 11. 50 ঘ. সে. HCl দ্রবণে 25 ঘ. সে. 0.82N NaOH দ্রবণ যোগ করা হল। দ্রবণের অতিরিক্ত অ্যাসিডের প্রশমনের জন্য 30 ঘ. সে. 0.09N Na_2CO_3 দ্রবণ প্রয়োজন হয়। অ্যাসিড দ্রবণের নর্ম্যালিটি এবং প্রতি লিটার দ্রবণে HCl এর গ্রামসংখ্যা নির্ণয় কর (Cl = 35.5)। (ক. বি. 1963)

ধরা যাক HCl দ্রবণের শক্তি = X N.
এখন 50 ঘ. সে. XN HCl ≡ 25 ঘ. সে. 0.82N NaOH + 30 ঘ. সে. 0.09N Na_2CO_3
30 ঘ. সে. 0.09N Na_2CO_3 ≡ 30 × 0.09/0.82 = 3.284 ঘ. সে. 0.82N Na_2CO_3 বা NaOH
অতএব 50 ঘ. সে. XN HCl ≡ (25 + 3.284) = 28.284 ঘ. সে. 0.82N NaOH

$$\therefore\ X = \frac{28.284 \times 0.82}{50}\,\text{N} = 0.4637\ \text{N}$$

এবং HCl এর শক্তি = 0.4637 × 36.5 = 16.92 গ্রাম/লিটার।

উদাহরণ 12. 0.40 গ্রাম NH_4Cl এবং $(NH_4)_2SO_4$ এর মিশ্রণবিশিষ্ট একটি দ্রবণকে অতিরিক্ত NaOH যোগে ক্ষারীয় করে নিয়ে পাতিত করা হল। ক্ষারকীয় পাতিত অংশ 13.65 মিলিলিটার N/2 H_2SO_4 দ্রবণকে প্রশমিত করে। মিশ্রণে NH_4Cl এর শতকরা পরিমাণ নির্ণয় কর। [N−14 ; O−16 ; H−1 ; S−32 ; Cl−35.5] (ক. বি. 1967)

NH_4Cl এর আণবিক ওজন 53.5, $(NH_4)_2SO_4$ এর আণবিক ওজন 132. ধরা যাক মিশ্রণে NH_4Cl এর পরিমাণ X গ্রাম। তাহলে $(NH_4)_2SO_4$ এর পরিমাণ 0.43 − X গ্রাম। NaOH এর সাথে NH_4Cl ও $(NH_4)_2SO_4$ এর বিক্রিয়া হয় নীচের মত।

$$NH_4Cl + NaOH = NaCl + H_2O + 2NH_3$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH = 2NaCl + 2H_2O + 2NH_3$$

সমীকরণ দুটি থেকে দেখা যাচ্ছে যে 53.5 গ্রাম NH_4Cl 17 গ্রাম NH_3 উৎপন্ন করে এবং 132 গ্রাম $(NH_4)_2SO_4$ 34 গ্রাম NH_3 উৎপন্ন করে। অর্থাৎ X গ্রাম NH_4Cl 17X/53.5 গ্রাম NH_3 এবং (0.40 − X) গ্রাম $(NH_4)_2SO_4$ 34(0.40 − X)/132 গ্রাম NH_3 উৎপন্ন করে। মোট উৎপন্ন NH_3-র পরিমাণ = 17X/53.5 + 34(0.40 − X)/132.

আবার এই NH_3 13.65 ঘ. সে. N/2 H_2SO_4 কে প্রশমিত করে। অর্থাৎ উৎপন্ন NH_3 N/2 শক্তিসম্পন্ন 13.65 ঘ. সে.। এতে NH_3র পরিমাণ হবে $17\times13.65/2\times1000$ গ্রাম।

শর্তানুসারে $17X/53.5+34(0.40-X)/132=17\times13.65/2000$

সমাধান করে $X=0.3094$ গ্রাম।

অতএব মিশ্রণে NH_4Cl এর পরিমাণ $=0.3094\times100/0.40=77.35\%$

27. ইউডিওমিতি (Eudiometry)

গ্যাসের আয়তনের পরিমাপ এবং এই পরিমাপ সম্পর্কিত গণনা ইউডিওমিতির বিষয়বস্তু। সুতরাং ইউডিওমিতি বিষয় পাঠ করবার আগে গ্যাসের ধর্ম সম্পর্কে কিছু আলোচনা করা প্রয়োজন।

গ্যাসের ধর্ম ভৌত দিক থেকে সাধারণত আয়তন, চাপ ও তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। **নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়**, বয়েল সূত্র অনুসারে, **নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন চাপের ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।**

গ্যাসের তাপমাত্রা চাপ ও আয়তন যথাক্রমে T, P ও V হলে এই সূত্র অনুসারে $V\propto1/P$ যখন T = ধ্রুবক। অর্থাৎ PV = ধ্রুবক। সুতরাং কোন গ্যাসের প্রারম্ভিক ও শেষ চাপ এবং আয়তন যথাক্রমে P_1 ও P_2 এবং V_1 ও V_2 হলে, নিত্য তাপমাত্রায়, $P_1V_1=P_2V_2$.

চার্লসের সূত্র অনুসারে **নিত্য চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের আয়তন তার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়।**

অর্থাৎ $V\propto T$ যখন P = ধ্রুবক। এর অর্থ V/T = ধ্রুবক। প্রারম্ভিক ও শেষ আয়তন এবং তাপমাত্রা যথাক্রমে V_1 ও V_2 এবং T_1 ও T_2 হলে, নিত্য চাপে $V_1/T_1=V_2T_2$.

বয়েল ও চার্লস সূত্রের সমন্বয়ে পাওয়া যায় $V\propto T/P$ যখন P বা T কোনটিই নির্দিষ্ট নয়। অর্থাৎ PV = RT. এই সমীকরণ এক গ্রাম অণু গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। R কে আণবিক গ্যাস ধ্রুবক (molar gas constant) বলে। যদি n গ্রাম অণু গ্যাস নেওয়া হয় তাহলে PV = nRT হবে। যদি গ্যাসের ভর g গ্রাম এবং আণবিক ওজন M হয় তাহলে n = g/M এবং PV = (g/M) RT হবে।

অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র অনুসারে **সম আয়তন সকল গ্যাসে একই তাপমাত্রায় ও চাপে সমসংখ্যক অণু থাকবে।**

ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র থেকে পাওয়া যায় যে **গ্যাসমিশ্রণের সমগ্র চাপ মিশ্রণে উপস্থিত বিভিন্ন গ্যাসগুলির আংশিক চাপের সমষ্টি মাত্র।**

গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র অনুসারে পাওয়া যায় যে **নির্দিষ্ট চাপে কোন গ্যাসের ব্যাপনের হার তার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্ত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।**

ইউডিওমিতির পরীক্ষাসমূহে একটি গ্যাসমাপক নল (eudiometer tube) ব্যবহার করা হয়। এই নলটি অংশাংকিত থাকে, যার ফলে এর মধ্যে গ্যাসের

আয়তন সরাসরি মাপা যায়। এটি বস্তুতপক্ষে 1 বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি কাচের নল। ইউডিওমিটার নলের মধ্যে গ্যাস নিয়ে অনেক সময়ে অপর কোন পদার্থের সাথে বিক্রিয়া ঘটানো হয়, আবার অনেক সময়ে কোন বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন গ্যাসকে এই নলে সংগ্রহ করা হয়। যদি জলের অপসারণ দ্বারা গ্যাস সংগ্রহ করা হয় তাহলে সংগৃহীত গ্যাসের সাথে কিছু জলীয় বাষ্প মিশে থাকে। যদিও আয়তনের দিক থেকে এই জলীয় বাষ্প ধর্তব্য নয়, কিন্তু চাপের ক্ষেত্রে সেকথা ঠিক নয়। গ্যাসের মোট চাপ থেকে জলীয় বাষ্পের টান বাদ দিতে হয়। তাপমাত্রা সাধারণত থার্মোমিটারে দেখে নেওয়া হয়। জল বা মার্কারীর অপসারণ দ্বারা গ্যাস সংগ্রহ করলে নলের মধ্যেকার তরল ও বাইরের তরলকে একই তলে রাখতে হবে, অন্যথায় ব্যারোমিটারের চাপ গ্যাসচাপের সমান হবে না।

কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাসের আয়তনিক সংযুক্তি নির্ণয়ের জন্য একটি ইউডিওমিটার নলে অক্সিজেন গ্যাস নেওয়া হয় এবং নলের উপরের দিকে অক্সিজেন গ্যাসের ভিতরে বিশুদ্ধ চারকোল পুড়িয়ে কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন করা হয়। চারকোল পোড়ান হয় বিদ্যুৎস্ফুলিঙ্গের সাহায্যে উত্তপ্ত করে। ঠাণ্ডা করে পূর্বের তাপমাত্রায় দেখা যায় যে আয়তনের বাস্তবিক কোন পরিবর্তন হয় না। ফলে এই সিদ্ধান্ত করা যায় যে যতটা অক্সিজেন কার্বনের সাথে যুক্ত হয়, আয়তনিক দিক থেকে ঠিক ততটা কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। অক্সিজেন দ্বিপরমাণুক অণু গঠন করায় অ্যাভোগাড্রো সূত্র প্রয়োগ করে সহজেই দেখানো যায় যে এক অণু কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাসে এক অণু অর্থাৎ দুই পরমাণু অক্সিজেন আছে। আবার কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব 22 হওয়ায় আণবিক ওজন 44. এর থেকে সহজেই জানা যায় যে এক অণু কার্বন ডাই অক্সাইডে এক পরমাণু কার্বন আছে। সুতরাং কার্বন ডাই অক্সাইডের আণবিক সংকেত হবে CO_2.

সম আয়তন হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের বিক্রিয়া ইউডিওমিটার নলে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে সম্পন্ন করে দেখা যায় যে একই উষ্ণতায় ও চাপে 1 আয়তন হাইড্রোজেন 1 আয়তন ক্লোরিনের সাথে যুক্ত হয়ে 2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস গঠন করে। এর থেকে একইভাবে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের আণবিক সংকেত HCl নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ 13. 12.5 মিলিলিটার অক্সিজেন এবং নাইট্রাস অক্সাইডের একটি মিশ্রণে 26 মিলিলিটার হাইড্রোজেন যোগ করা হল এবং উৎপন্ন মিশ্রণের বিস্ফোরণ ঘটানো হল। ঠাণ্ডা করার পর অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন 12.5 মিলিলিটার হয়। সব আয়তনই শুষ্ক করার পর 1 অ্যাটমসফিয়ার চাপে এবং 27°C তাপমাত্রায় মাপা হল। মূল মিশ্রণের শতকরা সংযুক্তি নির্ণয় কর। (ক. বি. 1966)

এখানে সম্ভাব্য দুটি বিক্রিয়া হতে পারে।

(i) $N_2O + H_2 = N_2 + H_2O$

(ii) $O_2 + 2H_2 = 2H_2O$

যদি ধরা যায় মূল মিশ্রণে X মিলিলিটার N_2O আছে, তাহলে O_2 এর আয়তন হবে $12.5 - X$ মিলিলিটার। X মি. লি. N_2O X মি. লি. H_2 এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে তৈরী করবে X মিলিলিটার N_2. ঠাণ্ডা অবস্থায় H_2O তরল অবস্থায় থাকায় তার আয়তন তুচ্ছ করা যায়। অতএব $2X$ মি. লি. N_2O ও H_2 এর মিশ্রণ থেকে X মি. লি. N_2 পাওয়া যাবে, অর্থাৎ আয়তন হ্রাস হবে X মি লি.। দ্বিতীয় বিক্রিয়া অনুসারে দেখা যায় প্রতি এক আয়তন O_2 এর জন্য 2 আয়তন হাইড্রোজেনের প্রয়োজন হয়।

অর্থাৎ মোট 3 আয়তনের H_2 ও O_2 এর মিশ্রণ থেকে যে H_2O পাওয়া যাবে তা তরল অবস্থায় থাকায় মোট আয়তন হ্রাস হবে 3. তাহলে $12.5 - X$ মি. লি. O_2 এর জন্য আয়তন হ্রাস হবে $3 \times (12.5 - X)$ মি. লি.। অতএব সম্মিলিত আয়তন হ্রাস $= X + 3 \times (12.5 - X)$ মি. লি.। প্রদত্ত শর্তানুসারে প্রকৃত আয়তন হ্রাস $= 26 + 12.5 - 12.5 = 26$ মি. লি.।

সুতরাং $X + 3(12.5 - X) = 26$, বা $X = 5.75$.

অতএব মূল মিশ্রণে N_2O এর আয়তন 5.75 মিলিলিটার এবং $12.5 - 5.75$ বা 6.75 মিলিলিটার O_2 আছে।

শতকরা হিসেবে $N_2O = 5.75 \times 100/12.5 = 46\%$ এবং $O_2 = 100 - 46 = 54\%$

উদাহরণ 14. একটি বায়ুশূন্য যন্ত্রে HCl সহযোগে উত্তপ্ত করে 1.3158 গ্রাম চুনাপাথরকে দ্রাবিত করা হল। উৎপন্ন গ্যাসকে অ্যাসিডের বাষ্পমুক্ত করে শুকিয়ে দেখা গেল 27°C উষ্ণতা ও 750 মি.মি. চাপে তার আয়তন হয় 311.8 ঘ. সে.। একই চুনাপাথরের 1.0526 গ্রামকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে, যখন আর কোন গ্যাস নির্গত হয় না, তখন অবশিষ্ট কঠিনের পরিমাণ হয় 0.6126 গ্রাম। N.T.P. তে, ঐ গ্যাসের ঘনত্ব (ভর প্রতি একক আয়তন) এবং আণবিক ওজন নির্ণয় কর।

প্রথমে উৎপন্ন গ্যাসের আয়তন N. T. P. তে কত হয় দেখতে হবে। এখানে $P_1 = 750$ মি. মি., $T_1 = 27°C = 300°A$, $V_1 = 311.8$ ঘ. সে.; $P_2 = 760$ মি.মি., $T_2 = 273°A$, $V_2 = ?$

$$V_2 = P_1V_1T_2/P_2T_1 = 750 \times 311.8 \times 273/(760 \times 300) = 280.1 \text{ ঘ. সে.}$$

1.0526 গ্রাম চুনাপাথর থেকে গ্যাস পাওয়া যায় $1.0526 - 0.6126 = 0.4400$ গ্রাম। অর্থাৎ 1.3158 গ্রাম চুনাপাথরে গ্যাসের পরিমাণ

$$= 0.4400 \times 1.3158/1.0526 = 0.5511 \text{ গ্রাম।}$$

এই গ্যাসের আয়তন N. T. P.তে 280.1 ঘ. সে. হওয়ায় ঘনত্ব হবে $0.5511/280.1 = 0.001963$ গ্রাম/ঘ. সে. $= 1.963$ গ্রাম/লিটার।

$$\text{আণবিক ওজন } M = \frac{gRT}{PV} = \frac{g}{V} \cdot \frac{RT}{P} = \rho \cdot \frac{RT}{P} \left[\because \rho = \frac{g}{V} = \text{ ঘনত্ব}\right]$$

$$= \frac{1.963 \times 0.082 \times 273}{1} \quad \left[\begin{array}{l}\because R = 0.082 \text{ লি. অ্যা. ডি/গ্রাম অণু} \\ T = 273°A, P = 1 \text{ অ্যাটমসফিয়ার}\end{array}\right.$$

$$= 43.94.$$

2.8 বিয়োজন এবং বিযোজন (dissociation and decomposition) —বিয়োজন এবং বিযোজন উভয়ের ফলেই যৌগিক পদার্থ ভেঙে যায়। কিন্তু বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন দ্রব্যের সাথে বিক্রিয়ক দ্রব্যের একটি উভমুখী সাম্য বর্তমান থাকে, বিযোজনের ফলে উৎপন্ন দ্রব্যগুলির সাথে বিক্রিয়ক দ্রব্যগুলির কোন উভমুখী সাম্যাবস্থা থাকে না।

বিয়োজন সাধারণত দুইশ্রেণীর হয়—**তাপ বিয়োজন** (thermal dissociation) এবং **তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজন** (electrolytic dissociation)। তাপ বিয়োজনের ফলে প্রশম পদার্থ উৎপন্ন হয়, কিন্তু তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন হয় চার্জবাহী আয়ন। সুতরাং এই দুইশ্রেণীর বিয়োজনের মধ্যেও পার্থক্য আছে। উভয় বিয়োজনের ক্ষেত্রেই উভমুখী সাম্যের অস্তিত্ব দেখা যায়। তাহলে বিয়োজন বলতে বোঝা যায় উভমুখীভাবে কোন পদার্থের ভেঙে যাওয়া, যার ফলে অবিয়োজিত অণু এবং বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন দ্রব্যের মধ্যে একটি সাম্যাবস্থা বর্তমান থাকে। তাপ প্রয়োগে $CaCO_3$; $CuSO_4, 5H_2O$; NH_4Cl ; PCl_5 ; N_2O_4 প্রভৃতি পদার্থ নিচের মত বিয়োজিত হয়। এগুলি সবই তাপ বিয়োজনের উদাহরণ এবং সবক্ষেত্রেই উভমুখী সাম্য থাকে।

$$CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$$
$$CuSO_4, 5H_2O \rightleftarrows CuSO_4, 3H_2O + 2H_2O$$
$$NH_4Cl \rightleftarrows NH_3 + HCl$$
$$PCl_5 \rightleftarrows PCl_3 + Cl_2$$
$$N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2$$

তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজন হয় সাধারণত গলিত অবস্থায় অথবা দ্রবণে। NaCl, KNO_3 প্রভৃতি কিছু কিছু লবণ কঠিন অবস্থাতেও বিয়োজিত অবস্থায় থাকে। প্রতিক্ষেত্রেই ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চর্জবাহী অংশ পাওয়া যায়।

$$NaCl \rightleftarrows Na^+ + Cl^-$$
$$MgSO_4 \rightleftarrows Mg^{+2} + SO_4^{-2}$$
$$Zn(NO_3)_2 \rightleftarrows Zn^{+2} + 2NO_3^-$$

বিযোজন (decomposition) ঘটে সাধারণত চরম শর্ত প্রয়োগে। বিযোজনে উভমুখিতা নেই। বিপরীত শর্ত প্রয়োগে মূল অণু ফিরে পাওয়া যায় না। উদাহরণ-স্বরূপ বলা যায় তড়িৎচালনার ফলে HCl এর বিযোজন। H_2 এবং Cl_2 উৎপন্ন হয়। HCl সম্পূর্ণ ভেঙে যায়। কিন্তু একই সময়ে H_2 ও Cl_2 এর মধ্যে কোন রকম বিক্রিয়া হয় না। H_2 ও Cl_2 এর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য সম্পূর্ণত ভিন্ন শর্ত প্রয়োগ করতে হয়।

2.9. **সমাকৃতিত্ব** (isomorphism)—যখন বিভিন্ন যৌগিক পদার্থ একই ধরণের কেলাস গঠন করে তখন তাদের **সমাকার** (isomorphous) বলা হয়। দেখা যায় যে সমাকার কেলাসগুলিকে একই ধরণের রাসায়নিক সংকেত দ্বারা লেখা যায়। অবশ্য একই ধরণের রাসায়নিক ধর্ম থাকলে বা একই ধরণের রাসায়নিক সংকেত থাকলে তারা যে একই ধরণের কেলাস গঠন করবেই একথা বলা ঠিক নয়। একই ধরণের কেলাস গঠন করতে হলে অণুর অভ্যন্তরস্থিত

পরমাণুগুলিকে একই ক্রমে বিন্যস্ত থাকতে হবে। অতএব, যদি একই ধরণের রাসায়নিক সংকেত থাকে, কিন্তু যদি পরমাণুগুলির পারস্পরিক অবস্থান একই ধরণের না হয়, তাহলে একই ধরণের কেলাস গঠিত হতে পারে না। যেমন $MgCO_3$ এবং $SrCO_3$ যৌগিক পদার্থে রাসায়নিক সংকেত একই ধরণের হওয়া সত্ত্বেও কেলাসের রূপ বিভিন্ন। কিন্তু জিঙ্ক সালফেট্ এবং ফেরাস্ সালফেটের সমাকার কেলাসগুলি বিশ্লেষণ করলে একই ধরণের সংকেত পাওয়া যায়। যেমন, $ZnSO_4,7H_2O$ এবং $FeSO_4, 7H_2O$. অতএব দেখা যাচ্ছে যে **সমাকার কেলাসগুলিতে একই সংখ্যক পরমাণু একই ভাবে অবস্থান করে।** এটিই **মিৎশার্লিসের সমাকৃতি সূত্র** (Mitscherlich's law of isomorphism)।

দেখা যায়, যে সমস্ত ভিন্ন ভিন্ন যৌগিক পদার্থ সমাকার কেলাস গঠন করে তারা যদি কোন দ্রবণ থেকে একই সাথে কেলাসিত হয় তাহলে তারা **মিশ্র কেলাস** (mixed crystal) তৈরী করে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, যখন বিভিন্ন অ্যালামগুলি একত্রে কেলাসিত হয় তখন সাধারণ অ্যালামের সঙ্গে কিছু ক্রোম অ্যালাম বা আয়রন অ্যালাম একত্রিত হয়ে মিশ্র কেলাস গঠন করে। এছাড়া সমাকার কেলাসগুলির ক্ষেত্রে **অতিবৃদ্ধি** (overgrowth) দেখা যায়। যখন কোন কেলাসকে ক্ষুদ্রাকার অবস্থায় নিজের সম্পৃক্ত দ্রবণের মধ্যে অথবা সমাকার অন্য কোন কেলাসের সম্পৃক্ত দ্রবণের মধ্যে ঝুলিয়ে রাখা যায় তখন ক্রমশ সেই কেলাসের আয়তন বৃদ্ধি পেতে থাকে। যদি একই পদার্থের দ্রবণ হয় তাহলে **সমসত্ব** কেলাস গঠিত হবে। অপরপক্ষে যদি ভিন্ন পদার্থের দ্রবণ হয় এবং ভিন্ন পদার্থটি অন্য রঙের হয় তাহলে কেলাস হবে অসমসত্ব এবং কেলাসের মধ্যে দুটি ভিন্ন রং দেখা যাবে, কেন্দ্রে থাকবে ঝুলিয়ে রাখা কেলাসের রং আর তার চতুর্দিকে থাকবে দ্রবণ থেকে কেলাসিত হওয়া পদার্থের রং। বস্তুতপক্ষে মিশ্র কেলাস গঠন বা অতিবৃদ্ধি একই ধরণের ধর্ম।

সমাকৃতি সূত্র থেকে বহু স্থানেই ব্যতিক্রম দেখা যায়। এর কারণ অবশ্য এই যে দুটি ভিন্ন ধরণের পদার্থের কেলাস সম্পূর্ণ এক রকম হয় না (ঘনক ব্যতীত)। যা দেখা যায় তা আপাত সমাকৃতি, এছাড়া এমন দেখা যায় যে ভিন্ন ভিন্ন অণু যাদের মধ্যে ভিন্ন সংখ্যায় পরমাণু আছে অনেক সময়ে সমাকার কেলাস গঠন করে। এর থেকে প্রতীয়মান হয় যে সমাকৃতি সূত্র সম্পূর্ণ সঠিক নয়। তথাপি সমাকৃতি সূত্রের সাহায্যে শুদ্ধ পারমাণবিক ওজন নির্ণয় করা সম্ভব।

2.10 ভিন্নরূপতা বা **পলিমরফিজ্‌ম** (polymorphism)—যখন একই পদার্থ বিভিন্ন আকারের কেলাস গঠন করে তখন সেই বিভিন্ন প্রকার কেলাস গঠনের ঘটনাকে **ভিন্নরূপতা** বা **পলিমরফিজ্‌ম** বলে। বহু পদার্থের মধ্যে কঠিনের এই ধর্ম বিদ্যমান। কোয়ার্টস্, ফ্লিন্ট, বালি বা ওপ্যাল প্রভৃতি বিভিন্ন আকারে SiO_2-র অবস্থান অনেকেরই জানা আছে। HgI_2-কে দুই আকারে

পাওয়া যায়—লাল ও হলুদ। একই পদার্থের বিভিন্ন আকারকে **ভিন্নরূপ** (polymorph) বলে। যদিও পদার্থ বল্‌তে সব ধরণের পদার্থই বোঝায়, তথাপি ভিন্নরূপতা বা পলিমরফিজ্‌ম্ কথাটি যৌগিক পদার্থের বহুরূপতার ক্ষেত্রেই সীমাবদ্ধ রাখা হয়েছে। মৌলিক পদার্থের ভিন্নরূপতাকে বলা হয় **বহুরূপতা** (allotropy)। অর্থাৎ একই মৌলিক পদার্থের প্রকৃতিতে বিভিন্নরূপে অবস্থান করাকে বহুরূপতা বলে। মৌলিক পদার্থের যে ভিন্ন ভিন্ন রূপের কথা বলা হচ্ছে তাদের মধ্যে ভৌত ধর্মের প্রভূত পার্থক্য এবং কিছু কিছু রাসায়নিক ধর্মের মধ্যেও পার্থক্য দেখা যায়।

সাধারণত দেখা যায় একই পদার্থের একটি রূপকে ক্রমশ উত্তপ্ত করলে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় তা অন্য আর একটি রূপে পরিণত হয়। আবার বিপরীতভাবে অর্থাৎ ক্রমশ ঠাণ্ডা করলে সেই তাপমাত্রায় পূর্বের আকারে ফিরে যায়। অর্থাৎ ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পরিবর্তন উভমুখী। এই তাপমাত্রাকে বলে **ট্রানজিশন তাপমাত্রা** (transition temperature)। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, রম্বিক সালফার 95.6°-তে এবং প্রমাণ চাপে মোনোক্লিনিক আকারে পরিণত হয়, আবার ঠাণ্ডা করলে ঐ একই তাপমাত্রায় এবং চাপে মোনোক্লিনিক সালফার রম্বিক আকার পুনঃপ্রাপ্ত হয়। এইভাবে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উভমুখীভাবে কেলাসের রূপ পরিবর্তনকে বলে **ইনান্‌সিয়োট্রোপী** (enantiotropy—বিপরীত পরিবর্তন) এবং এক একটি রূপকে বলে **ইনান্‌সিয়োট্রোপ**। কেলাসটিকে বলা হয় **ইনান্‌সিয়োট্রোপীয়** (enantiotropic)।

একই পদার্থের বিভিন্ন রূপের মধ্যে একমুখী পরিবর্তনও দেখা যায়। যেমন সাদা ফস্‌ফরাসকে সহজেই 250° উষ্ণতায় লাল ফস্‌ফরাসে পরিণত করা যায়। কিন্তু লাল ফস্‌ফরাসকে একই তাপমাত্রায় সাদা ফস্‌ফরাসে পরিণত করা সম্ভব নয়। হীরাকে উত্তাপ প্রয়োগে সহজেই গ্রাফাইটে পরিণত করা যায়, কিন্তু গ্রাফাইটকে শত উত্তপ্ত করলেও হীরা পাওয়া যাবে না। একই কথা বলা যায় ওজোনের (ozone) ক্ষেত্রে। উত্তাপে O_2-এ রূপান্তরিত হয়ে আবার শৈত্য প্রয়োগে কিছুতেই O_3-এ ফিরে যাবে না। অতএব এসব পরিবর্তন একমুখী। এইজন্য একে বলে **মোনোট্রোপী** (monotropy—এক পরিবর্তন)। মোনোট্রোপীয় পদার্থের কোনো ট্রানজিশন তাপমাত্রা নেই বা আছে কোন কল্পিত ট্রানজিশন তাপমাত্রা যা উভয় রূপের গলনাংকের উপরে। অর্থাৎ উত্তপ্ত করলে ট্রানজিশন তাপমাত্রায় পৌঁছবার পূর্বেই একটি রূপ অপর রূপে পরিবর্তিত হবে।

অনেক সময়ে দেখা যায় গলিত অবস্থায় λ-সালফার আর μ-সালফার পাশাপাশি থাকে। তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে তাদের আপেক্ষিক পরিমাণ। দুই বা তার বেশি রূপের পাশাপাশি এরূপ অবস্থানকে বলে **গতীয় বহুরূপতা** (dynamic allotropy)।

আগেই বলা হয়েছে যে বহুরূপী পদার্থের বিভিন্ন রূপে ভৌত ধর্মের প্রভূত

পার্থক্য দেখা যায়। যেমন দ্রাব্যতা, তড়িৎবাহিতা প্রভৃতি। ট্রানজিশন তাপমাত্রায় দুটি রূপই থাকে একত্রে অর্থাৎ সাম্যাবস্থায় এবং দুটি আকারেরই বাষ্পচাপ হয় সমান। বস্তুতপক্ষে ট্রানজিশন তাপমাত্রা গলনাংকের ন্যায় ধর্মবিশিষ্ট। গলনাংককে ট্রানজিশন তাপমাত্রার সাথে এই জন্যই তুলনা করা যায় যে গলনাংকের উভয় দিকে দুটি রূপ বর্তমান, যেমন তরল ও কঠিন এবং তরল-কঠিন পরিবর্তন উভমুখী। ট্রানজিশন তাপমাত্রা নির্ণয় করার জন্য ট্রানজিশন তাপমাত্রায় ভৌত ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ্য করা হয়। যেমন একটি কৈশিক নলে এক রূপের কোন পদার্থ নিয়ে উত্তপ্ত করলে এক সময় হঠাৎ আয়তনে কিছু পরিবর্তন দেখা যাবে। এই তাপমাত্রাই ট্রানজিশন তাপমাত্রা।

2.11 লবণ, জটিল লবণ এবং ভার্নারের কোঅর্ডিনেশন তত্ত্ব

(Salts, complex salts and Werner's Co-ordination theory)

লবণ (salt)—অ্যাসিড এবং ক্ষারকের বিক্রিয়ার ফলে জল ব্যতীত অপর যে যৌগ গঠিত হয় তাই **লবণ** (salt)। অ্যাসিডের হাইড্রোজেনকে আংশিক বা সম্পূর্ণভাবে ধাতু বা ধাতুর মত ধর্মবিশিষ্ট মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপন করলে যে যৌগ উৎপন্ন হয় তাই লবণ।

যে কোন অ্যাসিডের হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত হলে লবণ পাওয়া যায়। যেমন NaCl—HCl থেকে Na দ্বারা H প্রতিস্থাপন করে এই লবণ পাওয়া যায়। NaCl লবণের অ্যাসিড বা ক্ষারক ধর্ম কিছুই নেই। এটি একটি প্রশম লবণ (neutral salt)।

আবার H_2SO_4-এ দুটি প্রতিস্থাপন যোগ্য হাইড্রোজেন থাকায় সোডিয়াম দ্বারা এই হাইড্রোজেনকে দুই স্তরে প্রতিস্থাপন করা যায়। প্রথমে একটি হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত হলে $NaHSO_4$ উৎপন্ন হয়। এই $NaHSO_4$ একটি লবণ, কেননা একটি হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত হয়েছে। আবার $NaHSO_4$ একটি অ্যাসিড কারণ $NaHSO_4$ দ্রবণে H^+ তৈরী করে। এইজন্য $NaHSO_4$ একটি আম্লিক লবণ (acidic salt)।

যদি কোন লবণে ক্ষারের ভাগ বেশী থাকে তাহলে লবণটি ক্ষারকীয় (basic) হয়। যেমন $2PbCO_3$, $Pb(OH)_2$—ক্ষারকীয় লেড কার্বনেট।

অতএব লবণকে তিন ভাগে ভাগ করা যায়—প্রশম, আম্লিক এবং ক্ষারকীয়। নীচে কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হল।

প্রশম লবণ, Na_2SO_4 ; $NaPO_3$; Na_3PO_4 ; $KClO_3$; KNO_3 ; $CaCO_3$ প্রভৃতি।

আম্লিক লবণ, $NaHCO_3$; NaH_2PO_4 ; Na_2HPO_4 ; $KHSO_4$ প্রভৃতি।

ক্ষারকীয় লবণ, $2CuCO_3$, $Cu(OH)_2$; $CuCO_3$, $Cu(OH)_2$; $(BiO)_2CO_3$, $\frac{1}{2}H_2O$ প্রভৃতি।

এই ধরণের লবণকে **সরল লবণ** (simple salt) ও বলা হয়।

জটিল লবণ ও জটিল যৌগ (complex salts and complex compounds)—সাধারণভাবে KCN বা $Fe(CN)_2$ সম্পৃক্ত লবণ। KCN এ K^+ এবং CN^- আয়নের উপস্থিতি পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণ করা যায়। তেমনি $Fe(CN)_2$ এ Fe^{+2} এবং CN^- আয়নের উপস্থিতিও প্রমাণ করা যায়। কিন্তু 4 : 1 আণবিক অনুপাতে KCN এবং $Fe(CN)_2$ মিশ্রিত করলে (দ্রবণে) Fe^{+2} বা CN^- আয়নের স্বাধীন উপস্থিতি প্রমাণ করা যায় না। এই মিশ্রণকে তড়িৎ-বিশ্লেষণ করলে Fe অ্যানোডে পাওয়া যায়। এর অর্থ Fe ঋণাত্মক তড়িৎবাহী আয়ন সৃষ্টি করে। কিন্তু তথ্যাদি Fe এর ঋণাত্মক চার্জবাহী আয়নের অস্তিত্ব স্বীকার করে না। K^+ আয়ন কিন্তু ক্যাথোডে মুক্ত হয়। সুতরাং দেখা যাচ্ছে K^+ আয়ন যেমন ছিল তেমনই আছে, কিন্তু Fe^{+2} এবং CN^- আয়ন মিলে, অপর কোন ঋণাত্মক চার্জবাহী আয়ন তৈরী করেছে।

$$4KCN + Fe(CN)_2 = K_4Fe(CN)_6$$

যেহেতু Fe এবং CN উভয়েই আনোডে মুক্ত হয় অতএব ধরে নেওয়া যেতে পারে যে $[Fe(CN)_6]$ একত্রে একটি আয়ন গঠন করে এবং এই আয়নের চার্জ −4 অর্থাৎ $[Fe(CN)_6]^{-4}$ আয়ন গঠিত হয়। $[Fe(CN)_6]$ কে তৃতীয় বন্ধনীর মধ্যে রাখা হয়। সম্পূর্ণটি ঋণাত্মক চার্জবাহী অংশ এইজন্য। $K_4Fe(CN)_6$ কে $K_4[Fe(CN)_6]$ লেখা হয়।

$K_4[Fe(CN)_6]$ যৌগটি প্রশম এবং সম্পৃক্ত যৌগ KCN এবং $Fe(CN)_2$-এর সংযুক্তির ফলে উৎপন্ন হয়। সাধারণ যোজ্যতা অনুসারে KCN এবং $Fe(CN)_2$ সরল লবণ। দুটি সরল লবণের সংযুক্তির ফলে উৎপন্ন যৌগকে **জটিল লবণ** (complex salt) বা **জটিল যৌগ** (complex compound) বলা যেতে পারে। এক্ষেত্রে $K_4Fe(CN)_6$ একটি জটিল যৌগ।

HCl এবং $PtCl_4$-এর মিশ্রণের ফলে একটি সুস্থিত দ্বিক্ষারীয় অ্যাসিড H_2PtCl_6 উৎপন্ন হয়। এই অ্যাসিড K_2PtCl_6 ধরণের লবণ তৈরী করে। H_2PtCl_6-এর আয়নের ফলে পাওয়া যায় $2H^+$ এবং $[PtCl_6]^{-2}$.

$$H_2PtCl_6 = 2H^+ + [PtCl_6]^{-2}$$

H_2PtCl_6 যৌগে Pt^{+4} বা Cl^- আয়নের উপস্থিতি পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণ করা যায় না। যেমন $AgNO_3$ দ্রবণ যোগে H_2PtCl_6 থেকে AgCl-এর কোন অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় না।

চতুর্যোজী প্লাটিনাম আরও অনেকগুলি জটিল যৌগ সৃষ্টি করে NH_3-র সাথে যুক্ত হয়ে। জটিল যৌগে একটি জটিল আয়ন থাকে। জটিল আয়নটিকে বন্ধনীর মধ্যে রাখা হয়। $PtCl_4$ এবং NH_3-র মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে বিভিন্ন জটিল যৌগ সৃষ্টি হয় এবং এই যৌগগুলিতে জটিল আয়নের গঠন বিভিন্ন হয়।

$PtCl_4 + 6NH_3 = [Pt(NH_3)_6]Cl_4 \rightleftarrows [Pt(NH_3)_6]^{+4} + 4Cl^-$ — $AgNO_3$ দ্রবণ যোগে 4টি Cl^- আয়ন অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$PtCl_4 + 5NH_3 = [Pt(NH_3)_5Cl]Cl_3 \rightleftarrows [Pt(NH_3)_5Cl]^{+3} + 3Cl^-$—$AgNO_3$ যোগে 3টি Cl^-—আয়ন অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$PtCl_4 + 4NH_3 = [Pt(NH_3)_4Cl_2]Cl_2 \rightleftarrows [Pt(NH_3)_4Cl_2]^{+2} + 2Cl^-$ - $AgNO_3$ যোগে দুটিমাত্র Cl^- - আয়ন অধঃক্ষিপ্ত হয়।
2টি গঠনে পাওয়া যায়

$PtCl_4 + 3NH_3 = [Pt(NH_3)_3Cl_3]Cl \rightleftarrows [Pt(NH_3)_3Cl_3]^{+} + Cl^-$—$AgNO_3$ যোগে একটিমাত্র Cl^- - আয়ন অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$PtCl_4 + 2NH_3 = [Pt(NH_3)_2Cl_4]$. এই যৌগ আয়নিত হয় না। $AgNO_3$ যোগে কোন অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় না।
2টি গঠন।

$PtCl_4 + NH_3 + KCl = K^+[Pt(NH_3)Cl_5]^-$

$PtCl_4 + 2\,KCl = K_2[PtCl_6]$

ত্রিযোজী কোবাল্টের ক্লোরাইডের সাথে NH_3-র বিক্রিয়ায় নিম্নোক্ত যৌগগুলি পাওয়া যায়।

$[Co(NH_3)_6]Cl_3$, $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$, $[Co(NH_3)_4Cl_2]\,Cl$

এছাড়া $[Co(NH_3)_4(NO_2)_2]Cl$ এবং $[Co(NH_3)_3(NO_2)_3]$ ও পাওয়া যায়।

ক্রোমিক ক্লোরাইডের তিনটি বিভিন্ন গঠনে তিনরকম সংকেত পাওয়া যায়। আয়ননের ফলে যথাক্রমে 1, 2 ও 3টি Cl^-আয়ন উৎপন্ন হয়।

$CrCl_3, 6H_2O$—$[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl, 2H_2O$; $[Cr(H_2O)_5Cl]Cl_2, H_2O$;
এবং $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$

একথা আগেই বলা হয়েছে যে সম্পৃক্ত সরল যৌগের পারস্পরিক সংযুক্তির ফলে জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়। সরল যৌগ গঠনে যে যোজ্যতার প্রকাশ হয় তাকে **প্রাথমিক যোজ্যতা** (primary valency) বলে। যোজ্যতাহীন সম্পৃক্ত সরল যৌগের পারস্পরিক সংযুক্তির জন্য **অক্সিলিয়ারী** (auxiliary), **মাধ্যমিক** (secondary) কিম্বা **সম্পূরক** (supplementary) যোজ্যতার অস্তিত্ব কল্পনা করা হয়। সম্পৃক্ত যৌগের অপর যৌগের সাথে যুক্ত হবার একটি ক্ষমতা আছে। এই ক্ষমতাই মাধ্যমিক যোজ্যতার জন্ম দেয়।

জটিল যৌগের সংকেত এবং গঠন সম্পর্কে 1893 সালে ভার্নার (Werner) তাঁর তত্ত্ব প্রকাশ করেন। তাঁর তত্ত্ব অনুসারেই উপরের জটিল যৌগগুলির সংকেত লেখা হয়েছে। তাঁর মতে প্রত্যেক জটিল যৌগে একটি কেন্দ্রক (nucleus) থাকে। এই কেন্দ্রকে ধাতু থাকে। ভার্নারের মতে নিউক্লিয়াসে প্রবেশকারী অণুর এক বা একাধিক নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় আছে। এই কারণে অণুগুলি কো-অর্ডিনেট যোজ্যতাদ্বারা নবাগত বিভিন্ন প্রশম অণুর সাথে যুক্ত হয়। কিন্তু যদি প্রশম করা না হয় তাহলে নিউক্লিয়াসের চার্জসংখ্যা কিভাবে পরিবর্তিত হয় তা ভার্নারের যোজ্যতা সূত্র অনুসারে পাওয়া যায়।

যোজ্যতা সূত্র :—উপরে প্রদত্ত উদাহরণগুলি বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় যে

নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জসংখ্যা কেন্দ্রস্থ ধাতুর ধনাত্মক যোজ্যতার সমান হবে, যখন কোন প্রশম অণু নিউক্লিয়াসে কোঅর্ডিনেট যোজ্যতাদ্বারা যুক্ত হয়। প্রশম অণুর উদাহরণ NH_3, H_2O প্রভৃতি।

যদি ঋণাত্মক আয়ন নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে তাহলে প্রতি একক ঋণাত্মক যোজ্যতার জন্য নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জসংখ্যা এক কমে যাবে। যদি নিউক্লিয়াসের মোট ধনাত্মক চার্জের থেকে বেশী ঋণাত্মক চার্জ নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে তাহলে নিউক্লিয়াসের নীট চার্জ হবে ঋণাত্মক। নিউক্লিয়াসের নীট ঋণাত্মক চার্জ নির্ণয় করা যাবে প্রবিষ্ট ঋণাত্মক চার্জের পরিমাণ থেকে নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জসংখ্যা বাদ দিয়ে।

যেমন $[Fe(CN)_6]$ আয়নের যোজ্যতা 3 যখন Fe এর যোজ্যতা 3, কারণ (CN) এর যোজ্যতা 1. Pt এর যোজ্যতা 4. $[Pt(NH_3)_6]$এর যোজ্যতা হবে 4, কেননা NH_3 প্রশম অণু। $[Pt(NH_3)_6Cl_2]$ এর যোজ্যতা উপরের সূত্র অনুসারে হবে $4-2=2$.

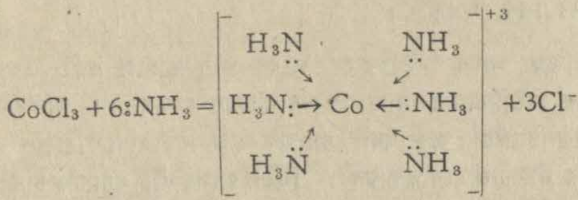
কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা (co-ordination number)—কোন ধাতু যে কটি ইউনি কোঅর্ডিনেটিং গ্রুপের (unicoordinating group) সাথে কোঅর্ডিনেট যোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হতে পারে তাই তার কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা। যেমন $[Pt(NH_3)_6]^{+4}$ এ Pt এর কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা 6, $[Co(NH_3)_6]^{+3}$ এ Co এর 6 প্রভৃতি।

NH_3, H_2O প্রভৃতি অণুগুলির কোঅর্ডিনেশন ক্ষমতা এক। কিন্তু 2, 3, 4-কোঅর্ডিনেটিং গ্রুপও দেখা যায়।

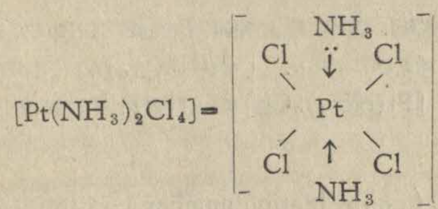
কোঅর্ডিনেশন এবং স্থায়িত্ব (coordination and stability)—কোঅর্ডিনেশনের ফলে অনেক সময়েই যৌগের স্থায়িত্ব বৃদ্ধি পায়। সাধারণভাবে ত্রিযোজী কোবাল্টের যৌগ দুঃস্থিত হলেও ত্রিযোজী কোবাল্টের জটিল যৌগগুলি খুবই সুস্থিত।

কোঅর্ডিনেশনের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব (electronic theory of co-ordination)—কোঅর্ডিনেশন ঘটে তখনই যখন কোন মৌল তার নিজস্ব একটি নিঃসঙ্গ ইলেট্রন জোড় (lone pair of electrons) অপর কোন মৌলের সাথে ভাগ করে নেয়। কোঅর্ডিনেট বণ্ড কোযোজী বণ্ডের সমতুল্য। এই সংযুক্তির ফলে কেন্দ্রস্থ পরমাণুর চার্জের কোন পরিবর্তন হয় না, শুধুমাত্র প্রতি বণ্ডের দরুন তার বহিস্থ ইলেকট্রনীয় কক্ষপথে দুটি ইলেকট্রন বেড়ে যায়। ইলেকট্রোযোজ্যতার কোন পরিবর্তন হয় না। যদি কোন বিপরীত চার্জবাহী আয়ন নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে তাহলে কো-যোজ্যতা দ্বারা সেই আয়ন কেন্দ্রস্থ পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়। ফলে কেন্দ্রস্থ পরমাণুর

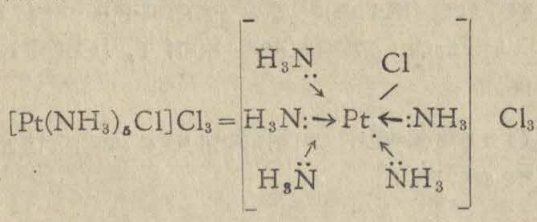
বহিস্থ ইলেকট্রনীয় কক্ষপথে ইলেকট্রন সংখ্যা কমে যায় অর্থাৎ যোজ্যতা কমে যায়। নীচের উদাহরণগুলি থেকে এ ধারণা স্পষ্ট হবে।



এই অবস্থায় কোবাল্টের বহিস্থ ইলেকট্রনীয় কক্ষপথে মোট 12টি ইলেকট্রন থাকে।



এই প্রশম জটিল যৌগে Pt-এর বহিস্থ কক্ষপথে মোট 12টি ইলেকট্রন আছে।



জটিল যৌগে আইসোমেরিজম (Isomerism in complex compounds)—ভার্নার জটিল যৌগের ক্ষেত্রে যেসব আইসোমেরিজমের কল্পনা করেন তা নিচের মত। পরবর্তীকালে পরীক্ষামূলকভাবে ভার্নারের কল্পনার সত্যতা প্রতিষ্ঠিত হয়েছে।

1. **নিউক্লিয়াসের গঠনগত আইসোমেরিজম** (structural isomerism in the nucleaes)

$\left[\begin{matrix} NO{-}O \searrow \\ NO{-}O \nearrow \end{matrix} Co(NH_3)_4\right]^{+}$ এবং $\left[\begin{matrix} O_2N \rightarrow \\ O_2N \nearrow \end{matrix} Co(NH_3)_4\right]^{+3}$

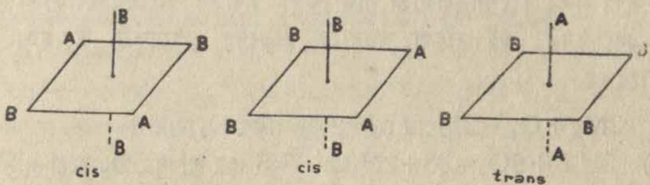
2. **কোঅর্ডিনেশন আইসোমেরিজম** (co-ordination isomerism)

$[Cr(NH_3)_6]\,[Cr(SCN)_6]$ এবং

$[Cr(NH_3)_4(SCN)_2]\,[Cr(NH_3)_2(SCN)_4]$

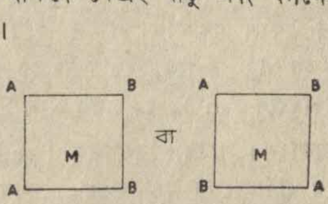
3. **আয়োনাইজেশন আইসোমেরিজম** (ionisation isomerism)
$[Co(NH_3)_5 Br] SO_4$ এবং $[Co(NH_3)_5 SO_4] Br$

4. **জ্যামিতিক আইসোমেরিজম** (geometrical isomerism)—
বেশির ভাগ যৌলের কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা 6। ভার্নারের মতে 6 কোঅর্ডি-নেশন সংখ্যাবিশিষ্ট যৌলের জটিল যৌগের দুরকম বিন্যাস হতে পারে। একটিকে cis এবং অপরটিকে trans বলা হয়।



আবার cis আইসোমার দুরকম হতে পারে।

কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা 4 হলে ভার্নারের মতে একটি সামতলিক গঠন পাওয়া যায়। একটি বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে থাকবে কেন্দ্রস্থ ধাতু এবং বর্গক্ষেত্রের চারকোণে থাকবে চারটি কোঅর্ডিনেটিং গ্রুপ।



ছবি থেকে দেখা যায় 4 কোঅর্ডিনেশন সংখ্যার ক্ষেত্রে দুরকম আইসোমার পাওয়া যায়।

জটিল যৌগ এবং ডবল যৌগ (complex compounds and double compounds)—ডবল যৌগ প্রকৃতপক্ষে দুঃস্থিত জটিল যৌগ। জটিল যৌগের নিউক্লিয়াস খুবই সুস্থিত। যেমন $K_2[PtCl_6]$কে তড়িৎবিশ্লেষণ করে ক্যাথোডে কখনও Pt পাওয়া যায় না। কিন্তু $K_2[Cd(CN)_4]$ এর তড়িৎবিশ্লেষণে অ্যানোড ও ক্যাথোড উভয় স্থানেই Cd পাওয়া যায়। আর $KAl(SO_4)_2.12H_2O$ বা ফটকিরির তড়িৎ-বিশ্লেষেণ K এবং Al একত্রে ক্যাথোডে মুক্ত হয়। $KAl(SO_4)_2.12H_2O$ একটি ডবল যৌগ। K_2PtCl_6 একটি জটিল যৌগ। $K_2Cd(CN)_4$ জটিল এবং ডবল যৌগের মাঝামাঝি। যে সব যৌগে উপস্থিত সম্ভাব্য সব আয়ন স্বাভাবিক পরীক্ষায় ধরা দেয় সেই সব যৌগ ডবল যৌগ। প্রকৃতপক্ষে জটিল ও ডবল যৌগের পার্থক্য তাদের স্থায়িত্বে। সুস্থিত জটিল যৌগকে বলা হয় জটিল যৌগ আর দুস্থিত জটিল যৌগকে বলা হয় ডবল যৌগ।

জারণ বিজারণ এবং শুদ্ধ রাসায়নিক সমীকরণ লেখার আয়ন-ইলেকট্রন পদ্ধতি (Oxidation-reduction and the ion-electron method of balancing chemical equations).

2.12a. জারণ-বিজারণ সম্পর্কে পুরোনো ধারণা (classical concept of oxidation and reduction)—কোন পদার্থের সাথে অক্সিজেন যুক্ত হওয়া বা কোন পদার্থ থেকে হাইড্রোজেন বিযুক্ত হওয়াকে **জারণ** (oxidation) বলে। কোন যৌগে ধাতব অংশের যোজ্যতা বৃদ্ধি কিম্বা অধাতব অংশের যোজ্যতা হ্রাসকেও **জারণ** বলা হয়। এই ধারণা অনুসারে জারণের কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া যেতে পারে।

(i) $2Mg+O_2=2MgO$ (Mg-এর জারণ O_2 দ্বারা)

(ii) $2H_2S+SO_2=3S+2H_2O$ (H_2S-এর জারণ SO_2 দ্বারা)

(iii) $10FeSO_4+KMnO_4+8H_2SO_4=5Fe_2(SO_4)_3+K_2SO_4+2MnSO_4+8H_2O$ ($FeSO_4$-এর জারণ আম্লিক $KMnO_4$ দ্বারা)

উপরের উদাহরণগুলিতে O_2, SO_2 এবং $KMnO_4$ যথাক্রমে Mg, H_2S এবং $FeSO_4$কে জারিত করে। এই পদার্থগুলিকে **জারকদ্রব্য** (oxidising agent) বলে। যে পদার্থ অপর কোন পদার্থকে জারিত করে তাই জারকদ্রব্য। প্রথম উদাহরণে অক্সিজেন যুক্ত হয় Mg এর সঙ্গে, দ্বিতীয় উদাহরণে H_2S থেকে হাইড্রোজেন বিযুক্ত হয় এবং তৃতীয় উদাহরণে $FeSO_4$ এর ধাতব অংশ Fe এর যোজ্যতাবৃদ্ধি হয়।

জারণের বিপরীত বিজারণ। সুতরাং **বিজারণ** (reduction) বলতে বোঝা যায় কোন পদার্থের সাথে হাইড্রোজেন যুক্ত হওয়া, কোন পদার্থ থেকে অক্সিজেন বিযুক্ত হওয়া কিম্বা কোন যৌগিক পদার্থের ধাতব অংশের যোজ্যতা হ্রাস। যেমন,

(i) $H_2+Cl_2=2HCl$ (Cl_2-এর বিজারণ H_2 দ্বারা)

(ii) $Fe_2O_3+3CO=2Fe+3CO_2$ (Fe_2O_3 এর বিজারণ CO দ্বারা)

(iii) $2HgCl_2+2FeCl_2=Hg_2Cl_2+2FeCl_3$ ($HgCl_2$-এর বিজারণ $FeCl_2$ দ্বারা)

উপরের তিনটি উদাহরণে যথাক্রমে হাইড্রোজেন যুক্ত হওয়া, অক্সিজেন বিযুক্ত হওয়া এবং ধাতব অংশের (Hg) যোজ্যতা হ্রাস দেখানো হল।

যে সব দ্রব্য অপর কোন পদার্থকে বিজারিত করে তারা **বিজারক দ্রব্য** (reducing agent)। এখানে H_2, CO এবং $FeCl_2$ বিজারক দ্রব্য।

জারণ বিজারণের অজস্র উদাহরণ রসায়নে ছড়িয়ে আছে। $2FeCl_3+SnCl_2=2FeCl_2+SnCl_4$ বিক্রিয়ায় $FeCl_3$-এর বিজারণ ঘটে কিন্তু $SnCl_2$ এর জারণ ঘটে। একই বিক্রিয়ায় জারণ ও বিজারণ পাশাপাশি চলে। যোজ্যতার দিক থেকে বিচার করলে এই বক্তব্যের সমর্থনে যে কোন জারণ বা বিজারণ ক্রিয়াকে উপস্থাপন

করা যায়। যেমন উপরের উদাহরণগুলিতে জারণের ক্ষেত্রে (i) নম্বর বিক্রিয়ায় Mg শূন্যযোজী থেকে দ্বিযোজী হল (কোন মৌল মুক্ত অবস্থায় থাকলে তখনকার মত তার যোজ্যতা শূন্য ধরা হয়)। অতএব Mg এর জারণ হল। কারণ Mg ধাতু। কিন্তু অক্সিজেনের শূন্য যোজ্যতা 2 এ পরিণত হওয়ায় যোজ্যতা বৃদ্ধি পেল অধাতব অংশের। সুতরাং অক্সিজেনের বিজারণ ঘটলো। একইভাবে দেখানো যায় প্রতিক্ষেত্রে জারণ-বিজারণ একসঙ্গে সংঘটিত হয়।

2.12b. জারণ ও বিজারণের ইলেকট্রনীয় ধারণা (electronic concept of oxidation and reduction)—মুক্ত অবস্থায় মৌলের যোজ্যতা শূন্য। যুক্ত অবস্থায় যৌগিক পদার্থের গঠনের উপর মৌলের যোজ্যতা নির্ভর করে। যেমন Cu-এর যোজ্যতা 0. কিন্তু CuS-এ কপারের যোজ্যতা 2. আবার যোজ্যতা ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হতে পারে—ইলেক্ট্রোযোজ্যতার ক্ষেত্রে। যে সব মৌল বা গ্রুপ ইলেকট্রন বর্জন করে তারাই একমাত্র ধনাত্মক যোজ্যতার অধিকারী—কারণ তারা ধনাত্মক আয়ন গঠন করে। ধাতুমাত্রেই ধনাত্মক আয়ন গঠন করে। অতএব ধাতব অংশের যোজ্যতা ধনাত্মক। অধাতব অংশ ঋণাত্মক, কেননা তারা বর্জিত ইলেকট্রন গ্রহণ করে।

এখন কোন পদার্থের সাথে অক্সিজেন কিভাবে যুক্ত হতে পারে। সেই পদার্থ দুটি ইলেকট্রন বর্জন করলে সেই ইলেকট্রন দুটি অক্সিজেন গ্রহণ করবে। আবার কোন পদার্থ থেকে হাইড্রোজেন বিযুক্ত হওয়ার অর্থ কি। হাইড্রোজেন সাধারণত যৌগিক পদার্থে ধনাত্মক আয়ন হিসেবে থাকে (অবশ্যই সব হাইড্রোজেন ঘটিত যৌগে নয়)। ধনাত্মক হাইড্রোজেন আয়ন একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করলে তবেই প্রশম হতে পারে। এই ইলেকট্রন যৌগিক পদার্থের অবশিষ্টাংশ বর্জন করে। ধাতব অংশের যোজ্যতাবৃদ্ধি অর্থে আয়নের চার্জ বৃদ্ধি। ধাতব আয়নের চার্জ ধনাত্মক। ধনাত্মক চার্জবৃদ্ধি কেবলমাত্র ইলেকট্রন বর্জন দ্বারাই সম্ভব। অতএব দেখা যাচ্ছে যে **জারণ** অর্থে কোন পদার্থ দ্বারা ইলেক ট্রন বর্জন বোঝায়। সুতরাং $Cu = Cu^{+2} + 2e$, $Fe^{+2} = Fe^{+3} + e$, $H = H^{+} + e$ প্রভৃতি বিক্রিয়াকে জারণের উদাহরণ বলা যেতে পারে।

কোন পদার্থের সাথে হাইড্রোজেন যুক্ত হওয়ার অর্থ H-দ্বারা বর্জিত ইলেকট্রন সেই পদার্থ গ্রহণ করে। অক্সিজেন বিযুক্ত হওয়ার অর্থ যৌগের অবশিষ্টাংশ কর্তৃক ইলেকট্রন গ্রহণ, কেননা অক্সিজেন যুক্ত অবস্থায় O^{-2} হিসেবে থাকে, কিন্তু মুক্ত অবস্থায় অক্সিজেনের কোন চার্জ থাকে না। সুতরাং O^{-2} নিশ্চয়ই দুটি ইলেকট্রন বর্জন করে আর যৌগের অবশিষ্টাংশ সেই ইলেকট্রন দুটি গ্রহণ করে। অধাতব অংশের যোজ্যতাবৃদ্ধি বলতে সাধারণত যোজ্যতার পরিমাণবৃদ্ধি বোঝায়। সুতরাং Cl শূন্য যোজ্যতা থেকে Cl^{-1} হলে যদিও একযোজী হয় কিন্তু যোজ্যতা ঋণাত্মক হওয়ায় Cl ইলেকট্রন গ্রহণ করবে। অতএব দেখা যাচ্ছে কোন পদার্থের **বিজারণ** বলতে সেই পদার্থ কর্তৃক ইলেকট্রন গ্রহণ বোঝায়। উদাহরণ, $O + 2e = O^{-2}$, $S + 2e = S^{-2}$, $Fe^{+3} + e = Fe^{+2}$, $Mn^{+7} + 5e = Mn^{+2}$ প্রভৃতি।

উপরে প্রদত্ত জারণ বিজারণের সংজ্ঞাই জারণ বিজারণের ইলেকট্রনীয় ধারণা। একসঙ্গে বলতে গেলে—**জারণ অর্থে কোন পদার্থ কর্তৃক ইলেকট্রন বর্জন, বিজারণ অর্থে কোন পদার্থ কর্তৃক ইলেকট্রন গ্রহণ।**

ইলেকট্রন সাধারণত মুক্ত অবস্থায় থাকে না। (ক্যাথোড রশ্মি এবং অন্যান্য কয়েকটি ক্ষেত্র ব্যতীত)। তাই কোন পদার্থ ইলেকট্রন বর্জন করলে অপর কোন পদার্থ সেই ইলেকট্রন গ্রহণ করবে। ফলে জারণ এবং বিজারণ ক্রিয়া একত্রে ঘটবে। উদাহরণস্বরূপ নিচের বিক্রিয়াগুলির উল্লেখ করা যেতে পারে।

(i) $Sn^{+2} = Sn^{+4} + 2e$ (জারণ)
$2Fe^{+3} + 2e = 2Fe^{+2}$ (বিজারণ)

$Sn^{+2} + 2Fe^{+3} = Sn^{+4} + 2Fe^{+2}$ (জারণ ও বিজারণ একত্রে)

(ii) $2\,Fe^{+2} = 2\,Fe^{+3} + 2e$ (জারণ)
$2\,Hg^{+2} + 2e = Hg_2^{+2}$ (বিজারণ)

$2\,Fe^{+2} + 2Hg^{+2} = 2Fe^{+3} + Hg_2^{+2}$ (জারণ বিজারণ একত্রে)

(iii) $10I^- = 5I_2 + 10e$ (জারণ)
$2Mn^{+7} + 10e = 2Mn^{+2}$ (বিজারণ)

$10I^- + 2Mn^{+7} = 5I_2 + 2Mn^{+2}$ (জারণ বিজারণ একত্রে)

(iv) $2\,S_2O_3^{-2} = S_4O_6^{-2} + 2e$ (জারণ)
$I_2 + 2e = 2I^-$ (বিজারণ)

$2\,S_2O_3^{-2} + I_2 = S_4O_6^{-2} + 2I^-$ (জারণ বিজারণ একত্রে)

(v) $2I^- = I_2 + 2e$ (জারণ)
$2Cu^{+2} + 2e = 2Cu^+$ (বিজারণ)

$2I^- + 2Cu^{+2} = 2Cu^+ + I_2$ (জারণ বিজারণ একত্রে)

(vi) $2Na = 2Na^+ + 2e$ (জারণ)
$Cl_2 + 2e = 2Cl^-$ (বিজারণ)

$2\,Na + Cl_2 = 2Na^+ + 2Cl^- = 2NaCl$ (জারণ বিজারণ একত্রে)

অতএব ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন যেখানেই থাকবে সেখানেই জারণ-বিজারণ দেখা যাবে।

2.13. রেডক্স বিক্রিয়ার আয়ন ইলেকট্রনীয় প্রতিমান পদ্ধতি

(Ion-electron method of balancing redox reactions)

আয়ন-ইলেকট্রনীয় প্রতিমান-পদ্ধতির মূল ভিত্তি হল জারণ ও বিজারণ। জারণের অর্থ হল ইলেকট্রন বর্জন এবং বিজারণ হল ইলেকট্রন গ্রহণ। এই পদ্ধতি 1927 খৃষ্টাব্দে, লা মের ও ইয়েটে-এর দ্বারা সম্প্রসারিত ও পরিমার্জিত হয়।

এই পদ্ধতি কেবলমাত্র জলীয় দ্রবণে আয়নীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। কিন্তু যেহেতু অজৈব রসায়নের প্রায় সব বিক্রিয়াই চরিত্রে আয়নীয় এবং এ ক্ষেত্রে রাসায়নিক বিক্রিয়া হল প্রকৃতপক্ষে আয়নের মধ্যে বিক্রিয়া তাই আয়নীয়-আকারে বিক্রিয়ার সমীকরণ লেখার কতকগুলি বিশেষ সুবিধা আছে। এছাড়া আয়নীয় সমীকরণকে সহজেই আণবিক সমীকরণে বা আণবিক সমীকরণকে আয়নীয় সমীকরণে পরিণত করা যায়।

আয়নীয় সমীকরণকে আয়ন-ইলেকট্রন পদ্ধতিতে প্রতিমান করতে হলে প্রথমে সমগ্র সমীকরণটিকে দুটি আংশিক সমীকরণে ভাগ করে নিতে হয়। এখানে মনে রাখতে হবে (i) এই সব বিক্রিয়া জলীয় দ্রবণে সংঘটিত হবার ফলে দ্রবণে জারক ও বিজারকের আয়ন ছাড়াও H_2O অণু, H^+ ও OH^- আয়নও থাকে। এবং আংশিক আয়নীয় সমীকরণগুলিকে প্রতিমান করতে এগুলির সাহায্য নেওয়া হয়। (ii) জারণ বা বিজারণের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনীয় পরিবর্তনের একককে e লেখা হয়।

এই পদ্ধতিতে রেডক্সবিক্রিয়া প্রতিমান করার নিয়মগুলি নিচে দেওয়া হল।

1. প্রথমে বিক্রিয়ার মূল কাঠামোটি লেখ। এর মধ্যে বিক্রিয়াপূর্ব ও বিক্রিয়াউত্তর পদার্থগুলি এবং যে সব মৌলের জারণ স্তরের পরিবর্তন ঘটেছে, তারা যেন থাকে।

2. তারপর জারকের পরিবর্তনের আংশিক সমীকরণের কাঠামোটি লেখ। যে মৌলের জারণস্তরে হ্রাসপ্রাপ্তি ঘটেছে তা যেন সমীকরণের উভয়দিকেই থাকে। ওই মৌলটিকে কখনই মুক্ত অ্যাটম বা মুক্ত আয়ন হিসেবে রাখবে না, যদি না, মৌলটি প্রকৃতপক্ষে ওইভাবে থাকে। মৌলটিকে আয়নীয় আকারে বা অণুর অংশহিসেবে লিখবে।

3. একইভাবে বিজারকের পরিবর্তনের আংশিক সমীকরণের কাঠামোটি লেখ। লক্ষ্য রাখবে, যে মৌলের জারণস্তরের বৃদ্ধি ঘটছে তা যেন সমীকরণের দুদিকেই থাকে।

4. প্রত্যেক আংশিক সমীকরণের দুদিকের পরমাণু-সংখ্যা সমান কর। প্রশম বা আম্লিক দ্রবণের ক্ষেত্রে H_2O বা H^+ যোগ করে অক্সিজেন ও হাইড্রোজেন পরমাণুসংখ্যা সমান করতে হবে। প্রথমে অক্সিজেন পরমাণুসংখ্যা সমান করতে হবে। তার জন্য আংশিক সমীকরণের যে কোন দিকের অতিরিক্ত প্রতি অক্সিজেন পরমাণুর জন্য অন্যদিকে একটি করে H_2O অণু যোগ করতে হবে। এর পর H^+-এর সাহায্যে সমীকরণের উভয়দিকের হাইড্রোজেন পরমাণুসংখ্যা সমান করতে হবে। (এখানে বিশেষভাবে লক্ষ্যনীয় যে এক্ষেত্রে O_2 বা H_2 যোগ করে সমতা আনা হচ্ছে না। সেরকম করা একমাত্র তখনই হয় যখন O_2 বা H_2 বিক্রিয়াতে মুখ্য অংশগ্রহণকারীর ভূমিকায় থাকে।)

যদি দ্রবণটি ক্ষারীয় হয় তবে, OH^- আয়ন ব্যবহার করা হবে। আংশিক

সমীকরণের যে কোনো দিকের অতিরিক্ত প্রতি অক্সিজেনের জন্য একই দিকে একটি করে H_2O ও অন্যদিকে $2OH^-$ যোগ করতে হবে। এর পরেও যদি দুদিকের হাইড্রোজেন সংখ্যা অসমান থাকে তবে দুদিক সমান করার জন্য প্রতি অতিরিক্ত হাইড্রোজেনের জন্য একই দিকে একটি করে OH^- ও অন্যদিকে একটি করে H_2O যোগ করতে হবে। আর আংশিক সমীকরণের একই দিকে যদি হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন উভয়ের পরিমাণই বেশী হয় তবে প্রতি জোড়া অতিরিক্ত হাইড্রোজেন-অক্সিজেনের জন্য অন্য দিকে একটি OH^- লিখতে হবে।

5 যার জারণস্তরের পরিবর্তন হচ্ছে বিক্রিয়াকারী এমন কোনো মৌল যদি বিক্রিয়ার ফলে অন্য মৌলের সাথে কোনো জারণস্তরে জটিল যৌগ গঠন করে, তবে দ্বিতীয় যে মৌলের সাথে জটিল যৌগ গঠিত হচ্ছে সেই দ্বিতীয় মৌলটি পূর্বোক্ত সমীকরণের উপযুক্ত দিকে যোগ করে দুদিক সমান করতে হবে।

এই দ্বিতীয় মৌলটির জারণস্তর জটিল যৌগে মৌলটি যে জারণস্তরে আছে সেই জারণস্তরেই থাকবে।

6. এরপর আংশিক সমীকরণ দুটির দুদিকে ইলেকট্রন যোগ বা বিয়োগ করে দুদিকের চার্জের পরিমাণ সমান করতে হবে। সাধারণত জারকের ক্ষেত্রে আংশিক সমীকরণের বাঁয়ে এবং বিজারকের ক্ষেত্রে আংশিক সমীকরণের ডাইনে ইলেকট্রন যোগ করাই প্রথা।

7. এরপর প্রত্যেক আংশিক সমীকরণকে এমন সংখ্যা দিয়ে গুণ করতে হবে যে দুই আংশিক সমীকরণের জারণজনিত বর্জিত ইলেকট্রনের সংখ্যা ও বিজারণজনিত লব্ধ ইলেকট্রনের সংখ্যা সমান হয় এবং যোগ করলে পরস্পরকে বাতিল করে।

8. এরপর উভয় সমীকরণকে যোগ কর এবং সমীকরণের উভয়দিকে যদি কোন মৌল বা যৌগ বা আয়ন সাধারণ থাকে তাকে বাদ দাও। সমস্ত ইলেকট্রন কেটে যাবে।

9. উভয়দিকেব মোট পরমণুর সংখ্যা এবং মোট চার্জের পরিমাণ মিলিয়ে দেখ।

এই পদ্ধতির সুবিধা ঃ

1. চূড়ান্ত সমীকরণে কেবলমাত্র যে সব পদার্থ বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে বা বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয় তাদেরই লেখা হয়, অন্যদের লেখা হয় না। এর ফলে বিক্রিয়ার প্রকৃত রূপটি আরও স্পষ্ট ও নিখুঁত হয়ে ওঠে।

2. এই পদ্ধতি জারক ও বিজারকের পরমাণুস্থিত যোজ্যতার বিতরণের প্রকল্পের ওপর নির্ভরশীল নয়। যেমন পারম্যাঙ্গানেটের ক্ষেত্রে Mn^{+7} জারক নয় আসলে MnO_4^- আয়নটিই জারক। MnO_4^- আয়নের গাঢ়ত্ব (concentration) পরীক্ষামূলকভাবে নিয়ন্ত্রিত ও নির্ধারিত করা যেতে পারে।

3. হাইড্রোজেন আয়ন গাঢ়ত্বের বা pH-এর প্রভাব (জারণ সংখ্যা) জারণসংক্রান্ত পদ্ধতিতে স্পষ্ট নয়, কিন্তু এই পদ্ধতিতে তা বেশ পরিষ্কারভাবে প্রতীত।

4. এই সমীকরণগুলি কাল্পনিক নয়; এর পরীক্ষামূলক প্রমাণ আছে।

এই পদ্ধতির সীমাবদ্ধতা :

1 এই পদ্ধতি একমাত্র আয়নীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য, অন্যত্র নয়।

2. এই পদ্ধতি একমাত্র জলীয় দ্রবণেই সীমাবদ্ধ; অন্য কোনো অজলীয় (non-aqueous) মাধ্যমে প্রযোজ্য নয়।

উদাহরণ 1. পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের সাথে সালফিউরিক অ্যাসিডের মাধ্যমে পটাশিয়াম ক্লোরাইডের বিক্রিয়া।

1. মূল সমীকরণের কাঠামোটি এভাবে লেখা যেতে পারে।

(i) $MnO_4^- \longrightarrow Mn^{2+}$

(ii) $2Cl^- \longrightarrow Cl_2$

2. প্রথম আংশিক সমীকরণের (i) দুই দিকে অক্সিজেন পরমাণু সংখ্যা সমান করবার জন্য ডানদিকে $4H_2O$ এবং সেই জন্যই বাঁদিকে $8H^+$ যোগ করতে হবে [আগের আলোচনার চতুর্থ অনুচ্ছেদের প্রথম অংশ দেখ]। দ্বিতীয় আংশিক সমীকরণটির দুদিক চিরাচরিত ভাবে সমান করতে হবে। তাহলে

(i) $MnO_4^- + 8H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

(ii) $2Cl^- \longrightarrow Cl_2$

3. প্রথম আংশিক সমীকরণের বাঁদিকে মোট চার্জের পরিমাণ $+8-1=+7$ এবং ডানদিকের মোট চার্জ $+2$। সুতরাং ডানদিকে 5টি ইলেকট্রন (প্রত্যেক ইলেকট্রনের একটি করে নেগেটিভ চার্জ আছে) যোগ করে দুদিক সমান করতে হবে। সুতরাং দাঁড়াচ্ছে

(i) $MnO_4^- + 8H^+ + 5e \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

(ii) $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e$

4. প্রথম আংশিক সমীকরণকে 2 ও দ্বিতীয় আংশিক সমীকরণকে 5 দিয়ে গুণ করে যোগ করলে

(i) $2MnO_4^- + 16H^+ + 10e \longrightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O$

(ii) $10Cl^- \longrightarrow 5Cl_2 + 10e$

$$2MnO_4^- + 16H^+ + 10Cl^- \longrightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 5Cl_2$$

এই হল পূর্ণ সমীকরণটি।

উদাহরণ 2. পটাশিয়াম ডাইক্রোমেটের সাথে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মাধ্যমে ফেরাস আয়রনের বিক্রিয়া :

আগের উদাহরণের মত জারকের আংশিক সমীকরণ—

$$Cr_2O_7^{--} \longrightarrow 2Cr^{3+}$$
$$Cr_2O_7^{--} \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$
$$Cr_2O_7^{--} + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

(i) $Cr_2O_7^{--} + 14H^+ + 6e \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$ (প্রতিমানিত সমীকরণ)

একইভাবে বিজারকের আংশিক সমীকরণ—

$$Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+}$$

(ii) $Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e$ (প্রতিমানিত সমীকরণ)

তাহলে মোটের উপর আংশিক সমীকরণ দুটি হল

(i) $Cr_2O_7^{--} + 14H^+ + 6e \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

(ii) $Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e$

দ্বিতীয় সমীকরণকে 6 দিয়ে গুণ করে প্রথম সমীকরণের সাথে যোগ করলে মূল সমীকরণটি পাওয়া যাবে।—

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6Fe^{2+} \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O + 6Fe^{3+}$$

উদাহরণ 3. পটাশিয়াম ডাইক্রোমেটের সাথে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মাধ্যমে পটাশিয়াম আয়োডাইডের বিক্রিয়া :

(i) জারকের আংশিক সমীকরণ :

$$Cr_2O_7^{--} \longrightarrow Cr^{3+}$$
$$Cr_2O_7^{--} \longrightarrow 2Cr^{3+}$$
$$Cr_2O_7^{--} \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$
$$Cr_2O_7^{--} + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$
$$Cr_2O_7^{--} + 14H^+ + 6e \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

(ii) বিজারকের আংশিক সমীকরণ

$$I^- \longrightarrow I_2$$
$$2I^- \longrightarrow I_2$$
$$2I^- \longrightarrow I_2 + 2e$$

দ্বিতীয় আংশিক সমীকরণকে 3 দিয়ে গুণ করে প্রথম সমীকরণের সাথে যোগ করলে মূল সমীকরণটি পাওয়া যাবে।

(i) $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$

(ii) $3 \times [2I^- \longrightarrow I_2 + 2e]$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6I^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O + 3I_2$$

উদাহরণ 4. ফেরিক ক্লোরাইডের সাথে হাইড্রোজেন সালফাইডের বিক্রিয়া :

(i) জারকের আংশিক সমীকরণ

$$Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$$

(ii) বিজারকের আংশিক সমীকরণ

$$H_2S \longrightarrow S^\circ \qquad \text{[সালফার মৌল]}$$

$$H_2S \longrightarrow S^\circ + 2H^+$$

$$H_2S \longrightarrow S^\circ + 2H^+ + 2e$$

প্রথম আংশিক সমীকরণকে 2 দিয়ে গুণ করে দ্বিতীয় সমীকরণের সাথে যোগ করে পূর্ণ সমীকরণটি পাওয়া যাবে।

$$2[Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}]$$

$$H_2S \longrightarrow S^\circ + 2H^+ + 2e$$

$$2Fe^{3+} + H_2S \longrightarrow 2Fe^{2+} + S + 2H^+$$

উদাহরণ 5. আয়রণ পাইরাইটের সাথে অক্সিজেনের বিক্রিয়া

$$FeS_2 + O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + SO_2.$$

এই বিক্রিয়ার দুটি দিক বিশেষ লক্ষণীয়। এক, FeS_2-এর Fe এবং S দুই-ই জারিত হচ্ছে এবং দুয়েরই জারণ স্তরের পরিবর্তন হচ্ছে। দুই, অক্সিজেন-গ্যাসের বিজারণজাত পদার্থ আয়রন এবং সালফার উভয়েরই সাথে যুক্ত হচ্ছে। জারকের আংশিক সমীকরণের দুদিক সমান করার সময় Fe ও S-পরমাণু 1 : 2 এই অনুপাতে থাকতে হবে কেননা উপরের অসম্পূর্ণ বিক্রিয়া থেকে দেখা যাচ্ছে প্রতি দুটি আয়রন পরমাণুর সঙ্গে সঙ্গে একটি করে সালফার পরমাণু জারিত হচ্ছে।

আংশিক সমীকরণ দুটিকে উপযুক্ত সংখ্যা দিয়ে গুণ করে যোগ করলে মূল পূর্ণ সমীকরণটি পাওয়া যাবে :

(i) $4 \times [Fe(+II) + 2S(\overset{*}{-}I) \longrightarrow 2Fe(+III) + 2S(+IV) + 11e]$

(ii) $11 \times [2O(zero) + 4e \longrightarrow 2O(-II)]$

$$4Fe(+II) + 8S(-I) + 22O(zero) \longrightarrow 4Fe(+III) + 8S(+IV) + 22O(-II)$$

অর্থাৎ $4FeS_2 + 11O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$

[* বন্ধনীর অন্তর্গত রোমান হরফ মৌলের জারণস্তর নির্দেশ করছে। যেহেতু FeS_2-তে আয়রন Fe^{++}, সুতরাং সালফার S_2^{2-} ভাবে রয়েছে। দুটি সালফার পরমাণুর মোট চার্জ −2 ; অর্থাৎ একটির চার্জ −1]

উদাহরণ 6. জিংকের সাথে সোডিয়াম নাইট্রেট ও কস্টিক সোডার বিক্রিয়া।

$$Zn + Na^+NO_3^- + Na^+OH^- \longrightarrow (Na^+)_2ZnO_2^{--} + NH_3 + H_2O$$

(i) জারকের আংশিক সমীকরণ

$$NO_3^- \longrightarrow NH_3$$

এই বিক্রিয়াটি ক্ষারীয় মাধ্যমে হচ্ছে; তাই অতিরিক্ত প্রতি অক্সিজেন পরমাণুর জন্য যে দিকে অক্সিজেন বেশী আছে সেদিকে একটি করে H_2O অণু এবং অন্যদিকে দুটি OH^- যোগ করতে হবে। (আগের আলোচনায় চতুর্থ অনুচ্ছেদের দ্বিতীয় অংশ দেখ)।

$$NO_3^- + 3H_2O \longrightarrow NH_3 + 6OH^-$$

এখন ডানদিকে তিনটি হাইড্রোজেন বেশী আছে; কাজেই আগের নিয়ম অনুসারে যে দিকে হাইড্রোজেন বেশী আছে সে দিকে অতিরিক্ত প্রতি হাইড্রোজেনের জন্য একটি OH^- ও বিপরীত দিকে একটি করে H_2O যোগ করতে হবে। অর্থাৎ

$$NO_3^- + 3H_2O + 3H_2O \longrightarrow NH_3 + 6OH^- + 3OH^-$$

বা $NO_3^- + 6H_2O \longrightarrow NH_3 + 9OH^-$

দুদিকের ইলেকট্রন চার্জের সমান করলে—

$$NO_3^- + 6H_2O + 8e \longrightarrow NH_3 + 9OH^-$$

(ii) বিজারকের আংশিক সমীকরণ

$$Zn \longrightarrow ZnO_2^{--}$$

আগের মতই, $Zn + 4OH^- \longrightarrow ZnO_2^{--} + 2H_2O$

সুতরাং, $Zn + 4OH^- \longrightarrow ZnO_2^{--} + 2H_2O + 2e$

দ্বিতীয় আংশিক সমীকরণকে 4 দিয়ে গুণ করে যোগ করলে

(i) $1 \times [NO_3^- + 6H_2O + 8e \longrightarrow NH_3 + 9OH^-]$

$4 \times [4OH^- + Zn \longrightarrow ZnO_2^{--} + 2H_2O + \ e]$

$$NO_3^- + 6H_2O + 4Zn + 16OH^- \longrightarrow NH_3 + 9OH^- + 4ZnO_2^{--} + 8H_2O$$

দুদিকে সাধারণ পদগুলি বাদ দিলে থাকে

$$NO_3^- + 4Zn + 7OH^- \longrightarrow NH_3 + 4ZnO_2^{--} + 2H_2O$$

অর্থাৎ,

$$Na^+NO_3^- + 4Zn + 7Na^+OH^- \longrightarrow NH_3 + 4(Na^+)_2ZnO_2^{--} + 2H_2O$$

উদাহরণ 7. মারকিউরিক সালফাইড, হাইড্রোক্লোরিক ও নাইট্রিক অ্যাসিডের মধ্যে বিক্রিয়া:

$$HgS + H^+Cl^- + H^+NO_3^- \longrightarrow (H^+)_2HgCl_4^{--} + NO + S + H_2O$$

(i) জারকের আংশিক সমীকরণ সহজেই প্রতিমান করা সম্ভব

$$NO_3^- + 4H^+ + 3e \longrightarrow NO + 2H_2O$$

(ii) বিজারকের আংশিক সমীকরণ :—

$$HgS \longrightarrow S$$

এই আংশিক সমীকরণে জারিত ও বিজারিত দুই অবস্থাতেই সালফার আছে এবং একমাত্র সালফারেরই জারণ স্তরের পরিবর্তন হচ্ছে। এখানে দুদিকের হাইড্রোজেন বা অক্সিজেন পরমাণুসংখ্যা সমান করতে হবে না, যা দুদিকে সমান সংখ্যায় নেই তা হল মার্কারি। জানা আছে যে বিক্রিয়ার ফলে জাত পদার্থে মার্কারি, $HgCl_4^{--}$ আয়ন হিসাবে থাকে। কাজেই সমতা আনার জন্য যদি সমীকরণের ডান দিকে $HgCl_4^{--}$ যোগ করা হয় তবে বাঁদিকে আবার Cl^- আয়ন যোগ করে ক্লোরিনের সংখ্যা সমান করতে হবে। এই রকম যোগ করা সব সময়েই চলতে পারে [আগের আলোচনার পঞ্চম অনুচ্ছেদ দেখ], যদি জটিল যৌগ গঠনে প্রয়োজনীয় যুক্ত আয়ন অন্য নতুন কোন জারণস্তরে না থাকে।

কাজেই, $HgS + 4Cl^- \longrightarrow S + HgCl_4^{--} + 2e$

প্রথম আংশিক সমীকরণকে 2 ও দ্বিতীয়কে 3 দিয়ে গুণ করে যোগ করলে পাব—

$$2 \times [NO_3^- + 4H^+ + 3e \longrightarrow NO + 2H_2O]$$
$$3 \times [HgS + 4Cl^- \longrightarrow S + HgCl_4^{--} + 2e]$$

$$2NO_3^- + 8H^+ + 3HgS + 12Cl^- \longrightarrow 2NO + 4H_2O + 3S + 3HgCl_4^{--}$$

অর্থাৎ $3HgS + 2H^+NO_3^- + 12H^+Cl^- \longrightarrow 2NO + 4H_2O + 3S + 3(H^+)_2HgCl_4^{--}$

উদাহরণ 8. নিচের অ্যাসিড মাধ্যমে ঘটমান বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ কর :

$$H_2O_2 + MnO_4^- \longrightarrow$$

এক্ষেত্রে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন পদার্থটি কি হবে তা সাধারণ রসায়নের জ্ঞান থেকে স্থির করতে হবে। MnO_4^- আয়নে ম্যাঙ্গানিজ উচ্চতম জারণস্তরে আছে কাজেই এর পক্ষে জারিত হয়ে আর উচ্চতর জারণস্তরে যাওয়া সম্ভব নয়। কাজেই বিক্রিয়া যদি আদৌ ঘটে তবে MnO_4^- আয়ন বিজারিত হবে। যেহেতু দ্রবণটি আম্লিক, MnO_4^- বিজারিত হয়ে Mn^{2+} হবে। কাজেই H_2O_2 এখানে বিজারক হিসাবে কাজ করবে এবং নিজে জারিত হয়ে অক্সিজেন উৎপন্ন করবে। পূর্বের পদ্ধতি অনুসরণ করে পূর্ণ সমীকরণটি এভাবে লেখা যাবে—

$$2 \times [MnO_4^- + 8H^+ + 5e \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O]$$
$$5 \times [H_2O_2 \longrightarrow O_2 + 2H^+ + 2e]$$

$$2\,MnO_4^- + 16H^+ + 5H_2O_2 \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 8H_2O + 10H^+ + 5O_2$$

সাধারণ পদ দুদিক থেকে বাদ দিলে,—

$$2\,MnO_4^- + 16H^+ + 5H_2O_2 \longrightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 5O_2$$

হবে পূর্ণ সমীকরণ।

2.12J. জারণ পোটেনসিয়াল (oxidation potential)—একই মৌলের বিভিন্ন চার্জবাহী দুটি আয়ন একত্র থাকলে একটি ইলেকট্রোডের সৃষ্টি হয়। এই ইলেকট্রোডের পোটেন্সিয়াল পাওয়া যায় নীচের সমীকরণ থেকে।

$$E = E_O - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{জারিত অবস্থা}]}{[\text{বিজারিত অবস্থা}]}$$

Eo কে বলা হয় প্রমাণ ইলেকট্রোড পোটেন্সিয়াল (standard electrode potential) বা প্রমাণ জারণ পোটেন্সিয়াল (standard oxidation potential), n = বিজারিত ও জারিত অবস্থার মধ্যে চার্জের পার্থক্য বা ইলেকট্রন সংখ্যা। যখন [জারিত অবস্থা] = [বিজারিত অবস্থা] হয় তখন E = Eo T = পরম তাপমাত্রা, F = ফ্যারাডে। নীচে কতকগুলি Eo মান দেওয়া হল।

কয়েকটি প্রমাণ ইলেকট্রোড পোটোন্সিয়াল।

ইলেকট্রোড	বিক্রিয়া	E_o ভোল্ট
Mn/Mn^{+2}	$Mn \rightleftarrows Mn^{+2} + 2e$	1.05
Fe/Fe^{+2}	$Fe \rightleftarrows Fe^{+2} + 2e$	0.44
Sn/Sn^{+2}	$Sn \rightleftarrows Sn^{+2} + 2e$	0.14
Pb/Pb^{+2}	$Pb \rightleftarrows Pb^{+2} + 2e$	0.13
H_2/H^+	$\frac{1}{2}H_2 \rightleftarrows H^+ + e$	0.00
Sn^{+2}/Sn^{+4}	$Sn^{+2} \rightleftarrows Sn^{+4} + 2e$	−0.15
Fe^{+2}/Fe^{+3}	$Fe^{+2} \rightleftarrows Fe^{+3} + e$	−0.75
Hg/Hg^+	$Hg \rightleftarrows Hg^+ + e$	−0.80
Ag/Ag^+	$Ag \rightleftarrows Ag^+ + e$	−0.80
Hg^+/Hg^{+2}	$Hg^+ \rightleftarrows Hg^{+2} + e$	−0.91
Cl^-/Cl_2	$Cl^- \rightleftarrows Cl + e$	−1.36
Mn^{+2}/Mn^{+7}	$Mn^{+2} \rightleftarrows Mn^{+7} + 5e$	−1.52

এই তালিকায় যে পোটেন্সিয়াল লিপিবদ্ধ করা হল তা জারণ পদ্ধতির জন্য, কারণ প্রত্যেকটি ইলেকট্রোড বিক্রিয়াই জারণ। সেইজন্য এই পোটেন্সিয়ালগুলিকে **প্রমাণ জারণ পোটেন্সিয়াল** (standard oxidation potential) বলা হয়ে থাকে। যদি পোটেন্সিয়ালগুলির চিহ্ন বিপরীত করে দেওয়া যায় তাহলেই **বিজারণ পোটেন্সিয়াল** পাওয়া যাবে। অর্থাৎ

$$E_o(\text{জারণ}) = -E_0(\text{বিজারণ})$$

যার জারণ পোটেন্সিয়াল যত কম সে তত বিজারিত হতে চায় অর্থাৎ অন্য দ্রব্যকে জারিত করতে চায়। যেমন ধরা যাক Mn^{+2}/Mn^{+7} ও Fe^{+2}/Fe^{+3} ইলেকট্রোড-দ্বয়ের প্রমাণ পোটেন্সিয়াল যথাক্রমে −1.52 ও −0.75. এর অর্থ এই যে Mn^{+7} থেকে Mn^{+2}-এ পরিবর্তিত হওয়ার ইচ্ছা Fe^{+3} থেকে Fe^{+2}-এ পরিবর্তিত হওয়ার

ইচ্ছা অপেক্ষা অনেক বেশী। অতএব Mn^{+7} সবসময়েই Fe^{+2}-কে Fe^{+3}-এ পরিণত করবে। আর নিজে Mn^{+2}-এ পরিণত হবে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যার জারণ পোটেনন্সিয়াল যত কম হবে তার জারণক্ষমতা তত বেশী হবে।

Eo সরাসরি ΔF°-এর সাথে সংশ্লিষ্ট। ΔF° আবার $-RTInK$-এর সমান।

$$\text{অতএব} \quad -nFE_\circ = -RTInK$$

$$\text{বা} \quad E_\circ = \frac{2.303RT}{nF} \log K.$$

K = সাম্য ধ্রুবক, ΔF^0 = প্রমাণ ফ্রি এনার্জি বৃদ্ধি।

সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে, যে কোন ইলেকট্রোড বিক্রিয়া উভমুখী, কেননা প্রতিক্ষেত্রেই সাম্য ধ্রুবকের একটা মান পাওয়া যাবে। সম্পূর্ণ সেলের ক্ষেত্রে সেল বিক্রিয়া উভমুখী। সাধারণত K-এর মান এত বেশী হয় যে বাস্তবিকপক্ষে বিপরীত বিক্রিয়া সম্মুখ বিক্রিয়ার তুলনায় তুচ্ছ করা যায়।

যেমন $Pb/Pb^{+2} : Ag^+/Ag$

সেলে বিক্রিয়া ঘটছে $Pb + 2Ag^{+2} = Pb^{+2} + 2Ag.$

ইলেকট্রোডে বিক্রিয়া ঘটছে $Pb = Pb^{+2} + 2e, E_{\circ Pb/Pb^{+2}} = 0.13$ ভোল্ট

এবং $2Ag^+ + 2e = 2Ag \;\; E_{\circ 2Ag^+/2Ag} = 1.60$ ভোল্ট

এখন সম্পূর্ণ সেলের $E_\circ = E_{\circ Pb/Pb^{+2}} + E_{\circ 2Ag^+/2Ag} = 0.13 + 1.60$
$= 1.73$ ভোল্ট

$$\text{সেল বিক্রিয়ার } K = \frac{[Pb^{+2}]}{[Ag^+]^2}$$

$$\text{এখন } E_\circ = \frac{RT}{nF} \ln K = \frac{0.059}{n} \log K, \qquad 25^\circ C \text{ উষ্ণতায়।}$$

$$\text{সুতরাং এক্ষেত্রে } 1.73 = \frac{0.059}{2} \log K \text{ বা } K = 10^{59}.$$

অর্থাৎ সম্মুখ বিক্রিয়া বিপরীত বিক্রিয়া অপেক্ষা 10^{59} গুণ বেশী গতিতে চলছে, যার অর্থ হচ্ছে এই যে বিক্রিয়াটি বাস্তবিকপক্ষে একমুখী। $E_\circ$ পরিমাপের দ্বারা এমনিভাবে যে কোন বিক্রিয়ার K নির্ণয় করা যাবে। যে সমস্ত ক্ষেত্রে আয়ন-ঘটিত বিক্রিয়া হবে না সেসব ক্ষেত্রেও K মাপা যাবে বীজগাণিতিক প্রক্রিয়ার সাহায্যে।

2.12e. বিজারণ-জারণ বা রেডক্স পোটেন্সিয়াল (redox potential) —একই পদার্থের বিভিন্ন চার্জবাহী দুটি আয়ন একত্রে থাকলে একটি পোটেন্সিয়াল পার্থক্য সৃষ্টি হয়। Fe^{+2}/Fe^{+3}, Sn^{+2}/Sn^{+4}, Mn^{+2}/Mn^{+7} প্রভৃতি। সুতরাং এই ধরণের কোন সিস্টেম একটি ইলেকট্রোডের কাজ করতে পারে।

পরিবাহী ধাতু হিসাবে সাধারণভাবে আক্রমণযোগ্য নয় এমন ধাতু এই আয়নগুলির দ্রবণে ডুবিয়ে দেওয়া হয়। এই ইলেকট্রোডে একই পদার্থের বিজারিত ও জারিত অবস্থার দুটি আয়ন থাকে এবং ইলেকট্রোড-বিক্রিয়া ঘটে $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3} + e$ এইরকম, অর্থাৎ বিজারিত থেকে জারিত। এইজন্য এই ধরণের ইলেকট্রোডকে বিজারণ-জারণ (reduction-oxidation বা সংক্ষেপে redox) ইলেকট্রোড বলা হয়। এই ইলেকট্রোডের পোটেন্সিয়ালকে **বিজারণ-জারণ** বা **রেডক্স পোটেন্সিয়াল** বলা হয়।

Sn^{+2}/Sn^{+4} ইলেকট্রোডে বিক্রিয়া ঘটে, $Sn^{+2} \rightarrow Sn^{+4} + 2e$

$$E_{Sn^{+2}/Sn^{+4}} = E_{\circ Sn^{+2}/Sn^{+4}} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{[Sn^{+4}]}{[Sn^{+2}]}$$

অর্থাৎ আগের মতই

$$E_{\text{ইলেকট্রোড}} = E_{\circ \text{ইলেকট্রোড}} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{ জারিত অবস্থা }]}{[\text{ বিজারিত অবস্থা }]}$$

আগেই বলা হয়েছে, যে ইলেকট্রোডের $E_\circ$ মান যত কম হবে তার জারণ-ক্ষমতা তত বেশী হবে। কয়েকটি রেডক্স ইলেকট্রোডের পোটেন্সিয়াল ৭৪ পৃষ্ঠায় তালিকায় লিপিবদ্ধ করা হয়েছে।

প্রশ্নাবলী

1. অ্যাসিড ও ক্ষারক কাকে বলে? ব্রয়েনস্টেড-লাউরী তত্ত্ব থেকে কোন কোন দ্রব্য অ্যাসিড ও ক্ষারক হতে পারে দেখাও।
   What are acids and bases? Show from the Broensted-Lowry theory which substances can act as an acid or a base.
   [সংকেত : 2.1b পরিচ্ছেদ সম্পূর্ণ দেখ।]

   অ্যাসিড-ক্ষারক অনুবন্ধ জোড় কি? অ্যাসিডের বিয়োজনের উপর দ্রাবকের প্রভাব বর্ণনা কর।
   What is a conjugate pair of an acid and base? Describe the influence of the solvent on the dissociation of an acid.
   [সংকেত : প্রথম অংশ 2.1b পরিচ্ছেদ থেকে দেখ। দ্বিতীয় অংশের জন্য 2.1c পরিচ্ছেদ সম্পূর্ণ দেখ।]

3. অ্যাসিড ও ক্ষারকের শক্তি বলতে কি বোঝ ব্যাখা কর। অ্যাসিড সমূহের আপেক্ষিক শক্তির তুলনা করার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। উদাহরণ দাও। (ক. বি. 1964)
   Explain what is meant by strength of acids and bases. Describe one method of comparing the relative strengths of acids. Give examples.
   (C. U. 1964)

[সংকেত : 2.1g পরিচ্ছেদের দ্বিতীয় অনুচ্ছেদ পর্যন্ত দেখ। ঐ পরিচ্ছেদ থেকে Ka নির্ণয় করার পদ্ধতি দেখ। এখন দুটি অ্যাসিডের Ka মান দ্বারা তাদের আপেক্ষিক শক্তি নির্ণয় করা যায়।]

4. অ্যাসিডের শক্তির পরিমাপ কি ব্যাখ্যা কর। অ্যাসিডের পরিমাপের দুটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। 1N H_2SO_4 এবং 1N HNO_3 এর কোনটি বেশী তীব্র? কারণ বর্ণনা কর।

(ক. বি. 1966)

Explain what is measuring the strength of an acid. Describe two methods of measuring the strength of an acid. You are given 1N H_2SO_4 and 1N HNO_3. Which one is stronger? Given reasons.

[সংকেত : 2.1g পরিচ্ছেদের দ্বিতীয় অনুচ্ছেদ পর্যন্ত এবং তারপর তৃতীয় অনুচ্ছেদ থেকে শেষ পর্যন্ত দেখ। H_2SO_4 নাইট্রেট লবণ থেকে নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরী করতে পারে, কিন্তু HNO_3 সালফেট লবণ থেকে H_2SO_4 উৎপন্ন করতে পারে না। সেইজন্যই H_2SO_4, HNO_3 অপেক্ষা বেশী শক্তিশালী। অতএব 1N H_2SO_3 1N HNO_2 দ্রবণ অপেক্ষা বেশী শক্তিশালী।)

5. বাফার দ্রবণ বলতে কি বোঝ? বাফার ক্ষমতা কি?
What do you mean by *buffer solution*? What is *buffer capacity*?
[সংকেত : 2.4a পরিচ্ছেদ সম্পূর্ণ এবং 2.4b পরিচ্ছেদের শেষ অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]

6. অ্যাসিড ক্ষারক সূচক সম্পর্কে যা জান লেখ।
Write what you know about acid-base indicator.
[সংকেত : 2.5a থেকে 2.5c পর্যন্ত পরিচ্ছেদ সম্পূর্ণ দ্রষ্টব্য।]

7. pH-টাইট্রেশন সম্পর্কে যা জান লেখ।
Write what you know about pH titration.
(সংকেত : 2.5d পরিচ্ছেদ সম্পূর্ণ দ্রষ্টব্য।)

8. টীকা লেখ।
(ক) বাফার দ্রবণ। (ক. বি. 1962, 1964, 1966, 1967 বর্ধমান সিলেবাস)
(খ) সূচক। (ক. বি. 1963, 1967)
Write notes on
(a) **Buffer solution.** (C. U. 1962, 1964, 1966, 1967 B. U. Syllabus)
(b) **Indicator.** (C. U. 1963, 1967)
(সংকেত : (ক) 2.4a পরিচ্ছেদ দেখ।
(খ) 2.5a থোক 2.5c পরিচ্ছেদ সংক্ষেপে দ্রষ্টব্য।)

9. প্রাইমারী স্ট্যাণ্ডার্ড ও সেকেণ্ডারী স্ট্যাণ্ডার্ড বলতে কি বোঝ? (ক. বি. 1962)
What do you mean by (a) primary standard and (b) secondary standard.
(সংকেত : 2.6 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।)

10. 21 সে. মি. ব্যাসবিশিষ্ট গোলাকার কতকগুলি বেলুনকে N. T. P. তে হাইড্রোজেন গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা হবে। হাইড্রোজেন আছে একটি সিলিণ্ডারে 20 অ্যাটমসফিয়ার চাপে এবং 27°C উষ্ণতায়। সিলিণ্ডারটিতে যদি 2.83 লিটার জল ধরে তাহলে কতগুলি বেলুন ভর্তি করা যাবে নির্ণয় কর। (ক. বি. 1962)
Spherical balloons of 2 cm. diameter are to be filled up with hydrogen at N. T. P. from a cylinder containing the gas at 20 atmosphere and

27°C : if the cylinder can hold 2.83 liters of water, calculate the number of balloons that can be filled up. (C. U. 1962)

11. টীকা লেখ :

(ক) প্রাথমিক যোজ্যতা (ক. বি. 1964)
(খ) সেকেণ্ডারী যোজ্যতা (ক. বি. 1964)
(গ) কো অর্ডিনেশন সংখ্যা (ক. বি. 1964)

Write notes on

(a) Primary valency (C. U. 1964)
(b) Secondary valency (C. U. 1964)
(c) Co·ordination number (C. U. 1964)

[সংকেত : 2.11 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য ।]

12. তাপ বিয়োজন বলতে কি বোঝায় ? তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজনের থেকে এর পার্থক্য কি ? (ক. বি. 1963)
What is meant by thermal dissociation ? How is it distinguished from electrohytic dissociation ? (C. U. 1963)

[সংকেত : 2.8 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য ।]

3. ভার্নারের কোঅর্ডিনেশন তত্ত্বের উপর একটি নিবন্ধ লেখ। ডবল এবং জটিল লবণের মধ্যে পার্থক্য নিরূপণ করা যায় কিভাবে ? (ক. বি. 1963)
Write an essay on Werner's Co·ordination theory. How would you distinshguish between double and complex salts ? (C. U. 1963)

[সংকেত : 2.11 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য ।]

14. টীকা লেখ :

(ক) ডবল লবণ ও জটিল লবণ (বর্ধমান 1963)
(খ) বিয়োজন এবং বিযোজন (বর্ধমান 1964, ক. বি, 1965)
(গ) জারণ ও বিজারণ (বর্ধমান 1964, ক. বি. 1965)
(ঘ) বহুরূপতা (ক. বি. বর্ধমান সিলেবাস 1967, ক. বি. 1965)
(ঙ) সমাকৃতি (ক. বি. বর্ধমান সিলেবাস 1967)

Write notes on :

(a) Double salt and complex salt (B. U. 1963)
(b) Dissociation and decomposition (B. U. 1964, C. U. 1965)
(c) Oxidation and reduction (B. U. 1964, C. U. 1965)
(d) Allotropy (C. U.—B. U. syllabus 1967, C. U. 1965)
(e) Isomorphism (C. U.—B. U. syllabus 1967)

[সংকেত : (ক) 2.11 পরিচ্ছেদের শেষাংশ, (খ) 2. 8 পরিচ্ছেদ, (গ) 2.12a এবং 2.12b পরিচ্ছেদ, (ঘ) 2.10 পরিচ্ছেদ এবং (ঙ) 2.9 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য ।]

15. ইউডিওমিতি বলতে কি বোঝ ? (ক. বি, 1966)
What do you understand by endiometry ? (C. U. 1966)
[সংকেত : 2.7 পরিচ্ছেদের প্রথমাংশ দ্রষ্টব্য ।]

16. ব্যাখ্যাসহ বর্ণনা কর : (ক) সমাকৃতি সূত্র, (খ) সডির সরণ সূত্র, (গ) অ্যাভোগাড্রো সূত্র।
(ক. বি. 1966)
State and illustrate : (a) Laws of isomorphism, (b) Soddy's displacement law, (c) Avogadro's law.
(C. U. 1966)

17. 2 গ্রাম $CuSO_4$এর দ্রবণ থেকে কপারকে অধঃক্ষিপ্ত করতে 27°C উষ্ণতায় এবং 750 মি. মি. চাপে কত আয়তন H_2S এর প্রয়োজন হবে ? কি পরিমাণ FeS থেকে ঐ H_2S পাওয়া যাবে ?
(Cu—63.5, Fe—55.85)
What volume of H_2S measured at 27°C and 750 mm. would precipitate the cooper in a solution of 2 gms. of $CuSO_4$ in water ? How much FeS would give the requisite quantity of H_2S ? [Cu - 63.5 ; Fe - 55.85]
Ans. 260.5 c.c., 0.92 gm.

18. অ্যাসিড ও ক্ষারক কিভাবে বিয়োজিত হয় ? অ্যাসিড ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবকের সংজ্ঞা লেখ।
How are acids and bases dissociated ? Define the dissociation constants of acids and bases.
[সংকেত : 2.1g পরিচ্ছেদ দেখ]

19. কোন একটি একক্ষারীয় অ্যাসিড দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্ব 1.3×10^{-3}N. আয়ন এবং অ্যাসিডের অ্যাকটিভিটি অংককে 1 ধরে অ্যাসিডের বিয়োজন ধ্রুবক নির্ণয় কর।
(ক. বি. 1963)
The hydrogen ion concentration of a 0.1N solution of a monobasic acid is 1.3×10^{-3}N. Calculate the dissociation constant of the acid taking the activity coefficients of the ions and molecule of the acid as unity.

[সংকেত : একক্ষারীয় অ্যাসিডের সংকেত ধরা যাক HA. এর বিয়োজন হবে এইভাবে $HA \rightleftarrows H^+ + A^-$

$$K_a = \frac{C_{H^+} \times C_{A^-}}{C_{HA}}$$

$C_{H^+} = 1.3\times10^{-3}N = 0.0013N = C_{A^-}$

$C_{HA} = 0.1 - 0.0013 = 0.0987N$

অতএব $K_a = \frac{0.0013\times0.0013}{0.0987} = 1.712\times10^{-5}$

20. জলের আয়নের প্রমাণ কি ? জলের আয়নীয় গুণফল বলতে কি বোঝ ?
What are the evidences in support of ionisation of water ? What do you understand by ionic product of water ?
[সংকেত : 2.1h পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]

21. pH-এর সংজ্ঞা কি ? কোন দ্রবণের pH পরীক্ষামূলকভাবে কি প্রকারে নির্ণয় করা যায় ?
What is the definition of pH ? How can the pH of a solution be experimentally determined ?
[সংকেত : সংজ্ঞা $pH = -\log C_{H^+}$, C_{H^+} = হাইড্রোজেন আয়ন গাঢ়ত্ব নির্ণয়ের জন্য 2.2c পরিচ্ছেদ দেখ।]

22. টীকা লেখ—

(ক) কোন দ্রবণের pH (ক. বি. 1962)

(খ) জলের আয়নীয় গুণফল (ক. বি. 1963)

Write notes on

(a) pH of a solution (C. U. 1962)

(b) ionic product of water (C. U. 1963)

[সংকেত : (ক) উদাহরণ বাদে 2.2a পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য ।

(খ) উদাহরণ বাদে 2.1h পরিচ্ছেদ দেখ ।)

23. pH বলতে কি বোঝা যায় ? pH নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর ।

(ক. বি. 1964, 1967—বর্ধমান সিলেবাস)

What is meant by pH ? Describe one method of determining it.

(C. U.—1964, 1967,—B. U. Syllabus)

(সংকেত : 21 নং প্রশ্নের উত্তর সংকেত দেখ ।)

24. জলের আয়নীয় গুণফল বলতে কি বোঝা যায় ? (ক. বি. 1967)

What is meant by ionic product of water ?

(সংকেত : প্রশ্ন 22 (খ) এর উত্তর সংকেত দেখ ।)

25. HA অ্যাসিডের বিয়োজন ধ্রুবক 1.8×10^{-5}. এই অ্যাসিডের 0.1N দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় কর ।

The dissociation constant of an acid HA is 1.8×10^{-5}. Calculate the hydrogen ion concentration of a 0.1N solution of the acid HA.

(C. U. 1967)

[সংকেত – $K_a = \frac{C_{H^+} \times C_{A^-}}{C_{HA}}$ । ∵ $HA \rightleftarrows H^+ + A^+$

$C_{H^+} = C_{A^+}$ হওয়ায়

$C^2_{H^+} = C_{HA} \times K_a = 0{\cdot}1 \times 1.8 \times 10^{\times 5} = 1.8 \times 10^{+6}$.

∴ $C_{H^+} = 1.371 \times 10^{+3}$N.]

26. অ্যাসেটিক অ্যাসিডের বিয়োজন ধ্রুবক 1.8×10^{-5}. এই অ্যাসিডের 0.1N দ্রবণের pH নির্ণয় কর । (ক. বি.—বর্ধমান সিলেবাস 1967)

The dissociation constant of acetic acid is 1.8×10^{-5}. Calculate the pH of 0.1N solution of this acid. (C. U.—B. U. Syllabus—1967)

27. কোন দ্রবণের pH নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি অন্তর্নিহিত ভৌত রাসায়নিক নীতির ব্যাখ্যাসহ বর্ণনা কর । 0.001N HCl দ্রবণের pH কত ?

Describe one method of determining the pH of a solution explaining clearly the physico-chemical principles on which the method is based. What is the pH of a 0.001N HCl solution ?

(সংকেত : 2.2c পরিচ্ছেদ দেখ)

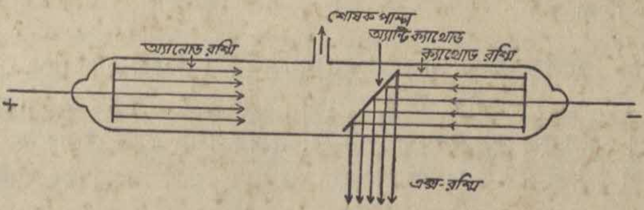
তৃতীয় অধ্যায়

পরমাণুবাদ

(Atomic theory)

মৌলিক কণা (Fundamental particles)

3.1a. **ক্যাথোড রশ্মি ও ইলেকট্রন** (cathode rays and electron)—যদি কোন ডিসচার্জ টিউবের মধ্যে অত্যল্প বায়ুচাপে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হয় তাহলে অনেকগুলি ঘটনা লক্ষ্য করা যায়। তার মধ্যে সর্বাপেক্ষা উল্লেখযোগ্য **ক্যাথোড রশ্মি**। ক্যাথোডের পৃষ্ঠ থেকে লম্বভাবে এই রশ্মি বিচ্ছুরিত হয়। ক্যাথোড রশ্মিকে



চিত্র নং 3. গ্যাসের মধ্যে তড়িৎচালনা

প্রথমে সাধারণ আলোকরশ্মি মনে হলেও পরবর্তীকালে পরীক্ষা করে দেখা গেছে এই রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎবাহী কণাদ্বারা গঠিত, কারণ এই রশ্মিকে যখন কোনো চুম্বকক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে চালনা করা হয় তখন এর পতিপথ পরিবর্তিত হয় এবং রশ্মিটি তড়িৎক্ষেত্রের ধনাত্মক তড়িৎদ্বার বা অ্যানোডের দিকে আকৃষ্ট হয়। ক্যাথোড রশ্মির অন্যান্য ধর্ম থেকে জানা যায় যে এই রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎবাহী ক্ষুদ্রতম কণাদ্বারা গঠিত। এই কণাকে **ইলেকট্রন** (electron) বলা হয়। ইলেকট্রন বাহিত তড়িৎ ঋণাত্মক তড়িতের ক্ষুদ্রতম একক। ক্যাথোড রশ্মি ছাড়া ইলেকট্রন উৎপন্ন করার আরও কয়েকটি পদ্ধতি আছে। যেমন ধাতুর উপর অতিবেগনী রশ্মি-ক্ষেপণ। একে **ফোটোইলেকট্রিক এফেক্ট** বলে। উচ্চ তাপমাত্রায় অনেক ধাতু থেকে ইলেকট্রন পাওয়া যায়। একে **থার্মায়নিক এফেক্ট** বলে।

ক্যাথোড রশ্মি প্রকৃতপক্ষে গতিশীল ইলেকট্রন শ্রেণী। যেহেতু ইলেকট্রন তড়িৎ বহন করে সেইজন্য এই কণাশ্রেণী চুম্বক বা তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে দিয়ে যাবার সময় গতিপথ পরিবর্তন করে। প্রথমে H তীব্রতাবিশিষ্ট একটি চুম্বকক্ষেত্রের মধ্যে ক্যাথোড-রশ্মি চালনা করলে ইলেকট্রনশ্রেণীর গতি এমনভাবে পরিবর্তিত হবে যার ফলে পথটি কিছু পরিমাণে বৃত্তকার হয়ে পড়বে। তখন যদি এই ইলেকট্রনশ্রেণীকে এমন একটি তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত করা যায় যাতে চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে যে বক্রপথ

রচিত হয়েছিল তা আবার ঋজুপথে ফিরে আসে তাহলে নিচের মত একটি সমীকরণ সহজেই পাওয়া যাবে।

$$e/m = X/rH^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3·1)$$

e, m, X এবং r যথাক্রমে ইলেকট্রনের চার্জ, ভর, তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা এবং চুম্বক-ক্ষেত্রের বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ।

X, H এবং r প্রত্যেকটির মান পরীক্ষামূলক ভাবে নির্ণয় করা সম্ভব। অতএব e/m অর্থাৎ ইলেকট্রনের আধান/ভর অনুপাত নির্ণয় করা সম্ভব। বিভিন্ন পরীক্ষা-মূলক নির্ণয়ে যে মান পাওয়া যায় তা হল 1.759×10^7 ইলেকট্রোম্যাগনেটিক একক/গ্রাম বা $5{\cdot}274 \times 10^{17}$ ইলেকট্রোস্ট্যাটিক একক/গ্রাম। যে কোনোভাবেই উৎপন্ন হোক না কেন ইলেকট্রনের e/m সবক্ষেত্রে একই হয়। এইজন্য **ইলেকট্রনকে পদার্থের বিশ্বজনীন উপাদান** (universal constituent of matter) বলা হয়।

3.1b. ইলেকট্রনের তড়িৎপরিমাণ নির্ণয় (determination of electronic charge)—জলীয় বাষ্প সম্পৃক্ত তড়িৎবাহী কণাসমন্বিত বায়ুকে দ্রুত সম্প্রসারণ করলে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার সৃষ্টি হয়, যাদের সমষ্টি একটি মেঘের সৃষ্টি করে। তড়িৎবাহী কণাগুলোর উপর জলকণাগুলো সৃষ্ট হয়। ধরে নেওয়া হয় বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে একটি জলকণা একটিমাত্র তড়িৎবাহী কণাকেই ধারণ করে। অনেক ক্ষেত্রে একাধিক তড়িৎবাহী কণাও একটি জলকণাদ্বারা গৃহীত হয়। মিলিকান (Millikan, 1909, 1913) একটিমাত্র তৈলকণা নিয়ে পরীক্ষা করেন। এই তৈলকণা আয়ন ধারণের ফলে হয় একক তড়িৎবাহী হয়, নয় একক তড়িতের কোন পূর্ণগুণ তড়িৎ বহন করে। মিলিকান একটি পাত্রের মধ্যে তৈলকণা সৃষ্টি করেন অ্যাটমাইজারের সাহায্যে। রঞ্জনরশ্মি চালনা করে তৈরী করেন আয়ন। তারপর একটি তৈলকণার গতিবিধি লক্ষ্য করেন। কণাটি প্রথমে মাধ্যাকর্ষণ হেতু নিম্নগামী হবে। এই নিম্নগামী গতি নির্ণয় করা হয় টেলিস্কোপের সাহায্যে। ধরা যাক এই গতি v_1. এরপর এমনভাবে একটি তড়িৎক্ষেত্র এই কণার উপরে প্রয়োগ করা হয় যাতে কণাটি উর্ধগামী হয়। টেলিস্কোপের সাহায্যে এই উর্ধগতিও লক্ষ্য করা হয়। ধরা যাক তড়িৎক্ষেত্রের তীব্রতা X এবং উর্ধগতি v_2. যদি তৈলকণাটির নিজস্ব ভর w হয় তাহলে wg বলদ্বারা কণাটি নিম্নমুখে আকৃষ্ট হবে। g = মধ্যাকর্ষণ ত্বরণ। এই আকর্ষণ হেতু নিম্নগামী গতির সৃষ্টি। তড়িৎক্ষেত্র X উর্ধমুখে প্রযুক্ত হওয়ায় মোট উর্ধমুখী বলের পরিমাণ Xe − wg এবং এই বলের জন্যই উর্ধগতির উদ্ভব। e = আয়নের চার্জ বা আধান। সুতরাং

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{wg}{Xe - wg} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.2)$$

w অর্থাৎ তৈলকণার ভর নির্ণয় করা দুরূহ ব্যাপার। যদি ধরা যায় তৈলকণাটি

সম্পূর্ণ গোলকাকৃতি তাহলে স্টোক্‌স্ সূত্র অনুসারে কণাটির ভর নির্ণয় করা যাবে। মাধ্যাকর্ষণ ক্ষেত্রে নিম্নমুখী গতি $v_1 = \frac{2gr^2\rho}{9\eta}$ ... ... (3.3) হবে। r, ρ এবং η যথাক্রমে কণাটির ব্যাসার্ধ, তেলের ঘনত্ব এবং মাধ্যমের সান্দ্রতাংক। এই সমীকরণের সাহায্যে r নির্ণয় করা যাবে। এখন

$$w = \tfrac{4}{3}\pi r^3 \rho. \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.4)$$

মিলিকান নির্ণীত ইলেকট্রন বাহিত তড়িতের পরিমাণ ছিল 4.774×10^{-10} ইলেকট্রোস্ট্যাটিক একক। কিন্তু বায়ুর সান্দ্রতাংকের ঠিক মান ধরলে এই পরিমাণ দাঁড়ায় 4.805×10^{-10} ইলেকট্রোস্ট্যাটিক একক। পরবর্তীকালে আরও কয়েকটি পরীক্ষায় এই একই মান পাওয়া গেছে।

ইলেকট্রন বাহিত তড়িতের পরিমাণ অন্য অনেকভাবে নির্ণয় করা হয়েছে। তাদের মধ্যে একটিতে তড়িতের ফ্যারাডে একক এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার সাহায্য নেওয়া হয়েছে। তাত্ত্বিক দিক থেকে প্রমাণ করা যায় যে এক গ্রাম তুল্যাংক যে কোন আয়নে মোট তড়িৎএককের পরিমাণ অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা N এর সমান। আবার এক গ্রাম তুল্যাংক কোন পদার্থের মোট বাহিত তড়িৎপরিমাণ এক ফ্যারাডের সমান। সঠিকভাবে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নির্ণয় করা যায়। অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার বর্তমান গৃহীত মান 6.023×10^{23}. এক ফ্যারাডে তড়িৎ = 96500 কুলম্ব $= 96500 \times 2.998 \times 10^9$ ইলেকট্রোস্ট্যাটিক একক। [1 ইলেকট্রো-ম্যাগনেটিক একক = 1 ইলেকট্রোস্ট্যাটিক একক/আলোর গতি (2.998×10^{10} সেমি/সে.) = 10 কুলম্ব]। এখন 1 ফ্যারাডে = N.e ... ... (3.5)

$$\text{বা} \quad e = \frac{1\ \text{ফ্যারাডে}}{N} = \frac{96500 \times 2.998 \times 10^9}{6.023 \times 10^{23}}\ \text{ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক একক}$$

$$= 4.803 \times 10^{-10}\ \text{ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক একক।} \quad (3.6)$$

সুতরাং ইলেকট্রনবাহিত তড়িতের পরিমাণ $e = 4.803 \times 10^{-10}$ ইলেকট্রো-স্ট্যাটিক একক।

3.1c. ইলেক্‌ট্রনের ভর (mass of an electron)—ভর ও এনার্জি সমতুল্য হওয়ায় ভর নির্ণয়ে কিছু অসুবিধা দেখা দেয়। কোনো বস্তুর নিশ্চল অবস্থায় ও চলমান অবস্থায় একই ভর থাকে না। সেইজন্য ইলেকট্রনের **নিশ্চল ভরই** এখানে দেওয়া হল। চলমান ভর গতির উপর নির্ভরশীল। (3.1) সমীকরণ থেকে e/m এর মান পাওয়া গেছে 5.274×10^{17} ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক একক। আর ইলেক্‌ট্রনের তড়িৎপরিমাণ $e = 4.803 \times 10^{-10}$ ইলেক্‌ট্রোস্ট্যাটিক একক।

অতএব ইলেক্‌ট্রনের ভর $m = \frac{4.803 \times 10^{-10}}{5.274 \times 10^{17}}$ গ্রাম $= 9.107 \times 10^{-28}$ গ্রাম (3.7)

একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর $m_H = \frac{1.008}{6.023 \times 10^{-23}}$ গ্রাম

$= 1.673 \times 10^{-24}$ গ্রাম। (3.8)

সুতরাং $$\frac{m_H}{m} = \frac{9.107 \times 10^{-28}}{1.673 \times 10^{-24}} = 1837. \quad (3.9)$$

অতএব দেখা যাচ্ছে ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর অপেক্ষা 1837 গুণ কম। প্রকৃতিতে যে সমস্ত মৌলিক উপাদান পাওয়া যায় তার মধ্যে হাইড্রোজেন সব থেকে হাল্কা। ইলেক্ট্রন তারও 1837 ভাগের একভাগ ভর বহন করে। এই কারণে অনেক সময়েই ইলেক্ট্রনের ভরকে তুচ্ছ করা হয়। অর্থাৎ **ইলেকট্রনের কোন ভর নেই এবং এর তড়িৎপরিমাণ 4.803×10^{-10} ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক একক** এরকম ধরা হয়। প্রকৃতপক্ষে ইলেক্ট্রন যে ভরহীন নয় একথা মনে রাখতে হবে।

ডি ব্রগলি (De Broglie, 1925) প্রথম দেখালেন যে ইলেক্ট্রনের কণাচরিত্র ছাড়াও কিছু কিছু তরঙ্গ ধর্ম আছে। একে **কণা-তরঙ্গ দ্বিত্ব** (wave-particle duality) বলা যেতে পারে। এর উপরে ভিত্তি করে শ্রডিঞ্জার, হাইজেনবার্গ (Schroedinger, Heisenberg) প্রমুখ বৈজ্ঞানিকদের প্রচেষ্টায় গড়ে উঠেছে ওয়েভ মেকানিক্স। এই মেকানিক্স থেকে ইলেক্ট্রনের তরঙ্গ ধর্মের বিবরণ পাওয়া যাবে।

3.1d. ধনাত্মক কণা (positive particles)—আগেই বলা হয়েছে যে ইলেক্ট্রন পদার্থের বিশ্বজনীন উপাদান। অর্থাৎ সব পদার্থেই ইলেক্ট্রন আছে। আবার একথা সত্যি যে প্রকৃতিতে যে সমস্ত পদার্থ দেখা যায় তারা সকলেই **প্রশম**। অতএব যদি সেই প্রশম পদার্থের মধ্যে ঋণাত্মক তড়িৎবাহী কণা উপস্থিত থাকে তাহলে পাশাপাশি ধনাত্মক তড়িৎবাহী কণাও উপস্থিত থাকবে। ডিসচার্জ টিউবে H_2 গ্যাস নিলে যেমন ক্যাথোডে ক্যাথোড রশ্মি পাওয়া যায় তেমনি অ্যানোডে **অ্যানোড রশ্মি** (anode ray) বা **ধনাত্মক রশ্মি** (positive rays) পাওয়া যায়। এই রশ্মি বিশ্লেষণে দেখা যায় যে এই রশ্মি ধনাত্মক কণাদ্বারা গঠিত। এই কণাগুলির প্রত্যেকে বহন করে এক একক ধনাত্মক তড়িৎ। কিন্তু এদের ভর ইলেকট্রন অপেক্ষা বহুগুণ বেশী এবং হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের খুবই কাছাকাছি। পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ দৃষ্টে মনে হয় যে **এই কণাগুলির প্রত্যেকটি এক একটি ইলেক্ট্রনবর্জিত হাইড্রোজেন পরমাণু**। এই কণাগুলিকে **প্রোটন** (proton) বলা হয়।

ভরহীন ইলেকট্রন কণা এক একক ঋণাত্মক তড়িৎ বহন করে। কিন্তু এক একক ধনাত্মক তড়িৎ পরিবহনের জন্য যে কণা পাওয়া যায় তার ভর হাইড্রোজেনের ভরের প্রায় সমান। এই বৈষম্য থেকে প্রোটন যে ঠিক ইলেক্ট্রনের বিপরীত নয় তাই মনে হয়। সুতরাং ঋণাত্মক ইলেক্ট্রন কণার ঠিক বিপরীত ধনাত্মক কণার

অস্তিত্ব থাকা সম্ভব। এই কণা হবে ইলেক্‌ট্রনের সমধর্মী, কেবলমাত্র তড়িৎ বহন করবে বিপরীত, কিন্তু সমমাত্রায়। এই ধারণার উপর ভিত্তি করে সত্যিই সেই বিপরীত কণার আবিষ্কার করলেন অ্যাণ্ডারসন (Anderson, 1932) বস্তুর সাথে মহাজাগতিক রশ্মির (cosmic rays) বিক্রিয়া ঘটিয়ে। পরবর্তীকালে অন্যান্য ভাবেও এই কণার উৎপাদন সম্ভব হয়েছে। এই কণাগুলো তড়িৎ ধর্ম ছাড়া অন্য সব ধর্মে ইলেক্‌ট্রনের মত। এই কণাগুলির নাম দেওয়া হল **পজিট্রন** (positron)। একটি ইলেকট্রন ও একটি পজিট্রন কণার পারস্পরিক বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎ প্রশমন হবে এবং দুটি কণাই বিলুপ্ত হবে, তার জায়গায় পাওয়া যাবে কিছু শক্তি। এই শক্তি দুটি কণার সম্মিলিত ভরের সমতুল্য হবে।

3.1e. **প্রশম কণা** (neutral particle)—উপরের আলোচনা থেকে একথা স্পষ্ট হয়েছে যে, যে কোন পদার্থের মধ্যেই ইলেকট্রন থাকবে এবং ইলেকট্রনের বিপরীত কিন্তু সমপরিমাণ চার্জবাহী প্রোটন থাকবে। পজিট্রন থাকবে না, কারণ ইলেকট্রন-পজিট্রন একত্র থাকতে পারে না। বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের বিভিন্ন ধর্ম, কিন্তু সকলের মধ্যেই ইলেকট্রন ও প্রোটন থাকবে। অতএব বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলি ভিন্ন ভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন-প্রোটনের সমষ্টি। একটি পরমাণুতে যত ইলেকট্রন থাকবে ঠিক ততগুলি প্রোটন থাকবে। এখন কোনো উপায়ে যদি পরমাণুর মধ্যে উপস্থিত মোট ঋণাত্মক বা ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ জানা যায় তাহলে মোট ইলেকট্রন বা প্রোটন সংখ্যা জানা যাবে। কোনো পরমাণুর মধ্যে উপস্থিত মোট প্রোটনের যে ওজন হবে তাই পরমাণুর ওজন হওয়া উচিত। কিন্তু দেখা যায় হাইড্রোজেন ব্যতীত অপর সকল মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক ওজন পরমাণু মধ্যস্থিত মোট প্রোটনের ওজন অপেক্ষা অনেক বেশী। সুতরাং পরমাণুর মধ্যে তৃতীয় কোনো কণা থাকা সম্ভব। এই কণার ওজন হবে প্রোটনের ওজনের প্রায় সমান, কিন্তু এর কোনো চার্জ থাকবে না। অর্থাৎ এই কণা হবে প্রশম কণা। এই কণার নাম দেওয়া হয় **নিউট্রন** (neutron)। শ্যাডউইক (Chadwick, 1932) এই কণা আবিষ্কার করেন বেরিলিয়ামের সাথে α-কণার সংঘর্ষ ঘটিয়ে। সুতরাং পরমাণুমধ্যে উপস্থিত তৃতীয় কণা **নিউট্রনের ওজন প্রোটনের ওজনের প্রায় সমান এবং নিউট্রন কোনো তড়িৎ বহন করে না।**

3.1f. **রঞ্জন রশ্মি বা এক্স-রে** (X-rays)—ক্যাথোড রশ্মি যদি কোন ধাতুর উপর পড়ে তাহলে যে নতুন রশ্মি পাওয়া যায় তাই এক্স-রে। এক্স-রে আবিষ্কার করেন রণ্টজেন (Rontgen, 1895)। বিভিন্ন পরীক্ষানিরীক্ষায় জানা গেছে যে এক্স রে তরঙ্গধর্মী অর্থাৎ এক্স-রে তড়িৎচৌম্বকীয় তরঙ্গসমষ্টি। এই তরঙ্গের দৈর্ঘ খুবই ছোট অর্থাৎ কম্পনসংখ্যা খুব বেশী। এই আলো দৃশ্য নয়। সাধারণ দৃশ্য আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ X-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ অপেক্ষা বেশী। ক্যাথোড রশ্মি যে ধাতুর উপর আপতিত হয়ে X-রশ্মি উৎপন্ন করে তাকে অ্যান্টিক্যাথোড (anticathode) বলা হয়। অ্যান্টিক্যাথোড হিসেবে বিভিন্ন ধাতু ব্যবহার করে বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘযুক্ত

X-রশ্মি পাওয়া যায়। তরঙ্গ দৈর্ঘ নির্ধারণের জন্য-এই রশ্মিকে কেলাসিত পদার্থের মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়। এই কেলাস ডিফ্রাকশন গ্রেটিং এর কাজ করে। আলোকচিত্র গ্রহণ করে দেখা যায় যে প্রতি ধাতুই মোটামুটি বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘবিশিষ্ট X-রশ্মি উৎপন্ন করে। কিন্তু তার মধ্যে একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘের রশ্মি বেশী পরিমাণে পাওয়া যায়। এই তরঙ্গদৈর্ঘ বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে ভিন্ন ভিন্ন হয়। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট ধাতুর ক্ষেত্রে এই তরঙ্গদৈর্ঘ নির্দিষ্ট। সেইজন্য এই তরঙ্গদৈর্ঘবিশিষ্ট রশ্মিকে ঐ ধাতুর ধর্মের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ধরা হয় এবং এই রশ্মিকে ঐ ধাতুর ক্যারেক্টারিষ্টিক এক্স-রে (characteristic X-ray) বলা হয়। X-রশ্মি দুই রকমের হয়—খর ও মৃদু (hard and soft)। যে X-রশ্মির কোন বস্তুকে ভেদ করার ক্ষমতা যত বেশী সেই রশ্মি তত খর, আর যে X-রশ্মির কোন বস্তুকে ভেদ করার ক্ষমতা যত কম সেই রশ্মি তত মৃদু। খরতার উপর নির্ভর করে ধাতু থেকে প্রাপ্ত X-রশ্মিকে চারভাগে ভাগ করা হয় K, L, M, N. K ভাগের রশ্মি সর্বাপেক্ষা খর আর N ভাগের রশ্মি সব থেকে মৃদু। সাধারণত কম পারমাণবিক ওজনবিশিষ্ট ধাতুগুলি K-শ্রেণীর রশ্মি উৎপন্ন করে। পারমাণবিক ওজন যত বাড়তে থাকে ততই উৎপন্ন X-রশ্মি K থেকে N এর দিকে সরে যেতে থাকে। আবার এক এক শ্রেণীতে একাধিক তরঙ্গদৈর্ঘ-বিশিষ্ট X-রশ্মি পাওয়া যায়। সেই ক্ষেত্রে $K\alpha$, $K\beta$ প্রভৃতি দ্বারা সেই সমস্ত রশ্মিকে চিহ্নিত করা হয়।

মোজলে (Moseley, 1913) বিভিন্ন ধাতুকে অ্যান্টিক্যাথোড হিসেবে ব্যবহার করে যে ভিন্ন ভিন্ন রশ্মি পান তার থেকে একটি অমূল্য সিদ্ধান্তে উপনীত হন। তিনি দেখালেন যে উৎপন্ন X-রশ্মির কম্পনসংখ্যার সাথে ধাতুর পরমাণু ক্রমাঙ্কের (atomic number) একটি সম্পর্ক আছে।

$$\sqrt{\nu} = a(Z - b) \qquad \cdots \qquad (3.10)$$

ν = উৎপন্ন X-রশ্মির কম্পন সংখ্যা, Z = পরমাণু ক্রমাংক, a = ধ্রুবক, b = প্রতি শ্রেণীর জন্য ধ্রুবক। (3.10) সমীকরণকে **মোজলে সূত্র** বলা যায়।

মোজলের সূত্র আবিষ্কারের ফলে পরমাণুর জগতে নতুন তথ্য সংযোজিত হল। কয়েকটি ভালভাবে জানা পরমাণু ক্রমাংক বিশিষ্ট ধাতুর ক্ষেত্রে যে $\sqrt{\nu}$-Z লেখ পাওয়া যাবে তাকে প্রমাণ ধরলে অন্যান্য ধাতুর পরমাণু ক্রমাংক সহজেই নির্ণয় করা যাবে। এই ভাবে যদি দেখা যায় লেখের কোনো স্থানে শূন্য সৃষ্টি হয়েছে তাহলে সেখানে নতুন কোনো ধাতু থাকবে ধরে নেওয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে X-রশ্মি বিশ্লেষণ দ্বারা সেই সময়ে কয়েকটি ধাতুর অস্তিত্ব সম্পর্কে নিশ্চিত হওয়া যায়। এ ছাড়া পরমাণু ক্রমাংক সংশোধনের জন্যও মোজলের সূত্র স্মরণীয় হয়ে আছে। কোবাল্ট নিকেলের অপেক্ষা বেশী পারমাণবিক ওজন বিশিষ্ট হলেও X-রশ্মি বিশ্লেষণ থেকে জানা গেল যে কোবাল্টের পরমাণু ক্রমাংক নিকেলের পরমাণু ক্রমাংক অপেক্ষা কম। সুতরাং পর্যায় সারণীতে কোবাল্ট নিকেলের আগে থাকবে। মেণ্ডেলিয়েফ কোন কারণ না দেখিয়েই কোবাল্টকে নিকেলের আগে বসিয়েছিলেন তাঁর পর্যায় সারণীতে। মোজলের

আবিষ্কারের ফলে এই আপাত বৈষম্যের কারণ জানা গেল এবং দেখা গেল যে পর্যায় সারণীতে প্রকৃতপক্ষে মৌলগুলিকে ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক ওজনের হিসেবে সাজানো হয়নি, হয়েছে ক্রমবর্ধমান পরমাণু ক্রমাংকের হিসেবে। অর্থাৎ **মৌলিক পদার্থগুলির ধর্ম তাদের পারমাণবিক ওজনের পর্যাবৃত্ত অপেক্ষক (function) নয়, পরমাণু ক্রমাংকের পর্যাবৃত্ত অপেক্ষক।** পর্যাবৃত্ত সূত্রকে (periodic law) এইভাবে সংশোধন করা হল। সুতরাং এখন থেকে জানা গেল যে **প্রকৃত প্রয়োজনীয় সংখ্যা পরমাণু ক্রমাংক, পারমাণবিক ওজন নয়।**

তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity)

3.2a. তেজস্ক্রিয় বিকীরণ ও তেজস্ক্রিয়তা (radioactive emission and radioactivity)—ইউরেনিয়াম ধাতুর যৌগ থেকে স্বতস্ফূর্তভাবে কতকগুলি রশ্মি বিকীর্ণ হয়। এই রশ্মি চোখে দেখা যায় না, কিন্তু ফোটোগ্রাফিক প্লেটে ধরা দেয়। এই ঘটনা আবিষ্কার করেন বেকারেল (Becquerel, 1895)। তিনি এই ঘটনার নাম দেন **তেজস্ক্রিয়তা** (radioactivity)। যে পদার্থ তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকীরণ করে তাকে **তেজস্ক্রিয় মৌল** (radioactive element) বলা হয়। ইউরেনিয়াম আকর পিচব্লেণ্ড (pitchblende) নিয়ে পরীক্ষা করে কুরী দম্পতি (Curie, 1898) আবিষ্কার করেন রেডিয়াম। রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা ইউরেনিয়াম অপেক্ষা বহুগুণ বেশী। পরের দিকে দেখা যায় যে প্রাকৃতিক মৌলগুলির আরও কয়েকটি তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকীরণ করে। এগুলি সবই ধাতু এবং এদের পরমাণুভার খুব বেশী। কম পারমাণবিক ওজনবিশিষ্ট মৌলের মধ্যে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা লক্ষ্য করা যায় না, যদিও কৃত্রিমভাবে এই সমস্ত মৌল তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত হতে পারে।

তেজস্ক্রিয় রশ্মিকে তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে চালনা করলে দেখা যায় এই রশ্মি তিনভাগে বিভক্ত হয়। ক্যাথোড ও অ্যানোডের দিকে দুটি ভাগ যথাক্রমে আকৃষ্ট হয়। তৃতীয় ভাগের উপর তড়িৎক্ষেত্রের কোনো প্রভাব লক্ষ্য করা যায় না। এই ভাগ কোনরকম পথ পরিবর্তন না করে সরাসরি চলে। এই রশ্মিকে **γ-রশ্মি** বলে। ঋণাত্মক মেরুতে আকৃষ্ট ভাগ স্বভাবতই ধনাত্মক তড়িৎবাহী কণাসমষ্টি। এই ভাগকে **α-রশ্মি** বলে। আর ধনাত্মক মেরুতে আকৃষ্ট ভাগ, যা ঋণাত্মক তড়িৎবাহী কণাসমষ্টি, **β-রশ্মি** নামে পরিচিত।

α-রশ্মি ধনাত্মক তড়িৎবাহী কণাসমষ্টি। এই জন্য একে **α-কণাও** (α-particles) বলা হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রে পথবিচ্যুতির পরিমাণ এবং অন্যান্য তথ্য থেকে দেখা যায় যে α-কণা অপেক্ষাকৃত ভারী। এই কণার ভর পারমাণবিক ক্রমে 4 এবং এর উপর ধনাত্মক তড়িতের পরিমাণ 2 একক। α-কণা সাধারণত পাতলা Pb-পাতকে ভেদ

করতে পারে। β-বা γ-রশ্মির তুলনায় α-কণার ভেদক্ষমতা (penetrating power) কম। এর কারণ α-কণার ভার। ভারী হওয়ায় গতি অপেক্ষাকৃত শ্লথ, ফলে ভেদক্ষমতা কম। হিলিয়াম পরমাণুর ভর 4, দুটি ইলেকট্রন বর্জিত একটি হিলিয়াম পরমাণুর ভর 4 এবং ধনাত্মক তড়িৎ 2 একক। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে **α-কণা প্রকৃতপক্ষে দুটি ইলেকট্রন বর্জিত হিলিয়াম পরমাণু। একে $_2He^4$ লেখা হয়।**

β-রশ্মি (β-ray) ঋণাত্মক তড়িৎবাহী কণাসমষ্টি। পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ থেকে দেখা যায় যে β-কণা এবং ইলেকট্রনের মধ্যে কোনো পার্থক্য নেই। সুতরাং β-রশ্মি ইলেকট্রনসমষ্টি। β-কণার গতিবেগ α-কণা অপেক্ষা অনেক বেশী হওয়ায় এর ভেদক্ষমতাও অনেক বেশী। মোটামুটি পুরু লেড পাতকে β-কণা অনায়াসে অতিক্রম করে যায়। β-কণাকে সাধারণত β বা β^- লেখা হয়।

γ-রশ্মি (γ-ray) নিয়ে পরীক্ষার যে ফল পাওয়া গেছে তাতে দেখা যায় γ-রশ্মি কোনো তড়িৎবাহী কণাসমষ্টি নয়। প্রকৃতপক্ষে γ-রশ্মির মধ্যে কোনো কণার অস্তিত্ব নেই। এটি তড়িৎচৌম্বকীয় তরঙ্গসমষ্টি। এই তরঙ্গের শক্তি অত্যন্ত বেশী। এই রশ্মির ভেদক্ষমতা α-বা β-রশ্মি অপেক্ষা বহুগুণ বেশী। γ-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ বেশীর দিকে 10^{-8} এবং কমের দিকে 10^{-11} হয়। সুতরাং কম্পনসংখ্যা হবে অনেক বেশী। এই জন্য γ-রশ্মিকে খুব ছোট তরঙ্গদৈর্ঘ বা উচ্চ কম্পনসংখ্যাবিশিষ্ট X-রশ্মি বলা হয়।

3.2b. α-কণা বিক্ষেপণ (scattering of α-particles) **ও পরমাণুর নিউক্লিয়ার তত্ত্ব** (nuclear theory of atom)—আগেই বলা হয়েছে যে α-কণা পাতলা ধাতবপাতকে ভেদ করতে পারে। একটি পাতলা সোনার পাতের মধ্য দিয়ে α-কণা চালনা করলে দেখা যায় যে বেশীর ভাগই অবিকৃত পথে সেই পাতকে অতিক্রম করেছে। অতি অল্পসংখ্যকের (প্রায় 20000 এ 1) মাত্র পথবিচ্যুতি ঘটেছে। অবশ্য এই অল্পসংখ্যক α-কণার ক্ষেত্রে বিচ্যুতির মাত্রা খুবই বেশী (90° বা তারও বেশী)। α-কণা বিক্ষেপণের এই তথ্য থেকে জন্ম নিলো পরমাণুর নিউক্লিয়ার তত্ত্ব। রাদারফোর্ড (Rutherford, 1911) দেখালেন যে যদি এরূপ ধরা হয় যে পরমাণু মধ্যস্থিত সম্পূর্ণ ধনাত্মক চার্জ পরমাণুর কেন্দ্রবিন্দুতে খুব ছোট আয়তনে সীমাবদ্ধ আছে তাহলে এই ঘটনার ব্যাখ্যা অতি সহজেই করা যায়। শুধু তাই নয়, নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ নির্ণয় করার জন্যও এই α-কণা বিক্ষেপণের ঘটনাকে কাজে লাগানো যায়। অবশ্য পরীক্ষামূলকভাবে নিউক্লিয়াসের চার্জ নির্ণয় করার প্রচুর অসুবিধা থাকায় আরও কিছুকাল অপেক্ষা করতে হয়। ভান ডেন ব্রোয়েকের (van den Broek, 1913) মতে **নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ সেই পরমাণুর পরমাণু ক্রমাঙ্কের সমান।** শ্যাডউইকের (Chadwick. 1920) চেষ্টায় ব্রোয়েকের মত প্রতিষ্ঠিত হয়। তিনি পরীক্ষামূলকভাবে কয়েকটি ধাতুর নিউক্লিয়ার চার্জের পরিমাণ নির্ণয় করে প্রমাণ করেন যে

পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চার্জসংখ্যা তার পরমাণু ক্রমাঙ্কের সমান। আবার যেহেতু পরমাণু প্রশম অতএব নিউক্লিয়াসে উপস্থিত ধনাত্মক চার্জের সমপরিমাণ ঋণাত্মক চার্জ পরমাণুর মধ্যে থাকতে হবে। ঋণাত্মক চার্জবাহী কণা ইলেকট্রন। সুতরাং নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জসংখ্যার সমপরিমাণ ইলেকট্রনও পরমাণুর মধ্যে থাকবে। পরীক্ষালব্ধ তথ্যের ভিত্তিতে গাণিতিক হিসাবে দেখা যায় যে নিউক্লিয়াস ও ইলেকট্রনের সম্মিলিত আয়তন পরমাণুর মোট আয়তন অপেক্ষা অনেক কম। সুতরাং ধরে নিতেই হবে যে পরমাণুর মধ্যে কিছুটা (বেশীর ভাগ) শূন্যস্থান আছে। যেহেতু নিউক্লিয়াসে কেবলমাত্র ধনাত্মক চার্জ বর্তমান অতএব একথা সত্য যে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের মধ্যে উপস্থিত থাকে না। ইলেকট্রনগুলো পরমাণুমধ্যস্থিত শূন্যস্থানে অবস্থান করে। উপরন্তু ইলেকট্রন বাস্তব ক্ষেত্রে ভরহীন হওয়ায় পরমাণুর সম্পূর্ণ ভর নিউক্লিয়াসেই সীমিত থাকে।

তাহলে **পরমাণুর নিউক্লিয়ার** তত্ত্ব দাঁড়ালো এইরকম। **যে কোন পরমাণুর একটি ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস আছে যেখানে সম্পূর্ণ ধনাত্মক চার্জ ও ভর সীমাবদ্ধ আছে। নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে আছে শূন্যস্থান যেখানে ইলেকট্রনসমূহ অবস্থান করে।**

পরমাণুর আয়তনের বেশীর ভাগ শূন্যস্থান হওয়ায় অধিকাংশ α-কণা এই শূন্যস্থান দিয়ে ধাতুর পাতকে অতিক্রম করবে। এই শূন্যস্থানে ইলেকট্রন থাকলেও α-কণার ভর ও চার্জ দুইই ইলেকট্রন অপেক্ষা বেশী হওয়ায় পথবিচ্যুতি একরকম ঘটবে না বলেই ধরে নেওয়া যায়। কিন্তু যদিও নিউক্লিয়াস পারমাণবিক আয়তনের অতি ক্ষুদ্র অংশ দখল করে তথাপি এই অংশে α-কণা প্রবেশের সম্ভাবনা একেবারে নেই এমন নয়। এই সম্ভাবনা সামান্য হওয়ায় মোট α-কণার অতি সামান্য অংশই নিউক্লিয়াসকে আঘাত করবে। নিউক্লিয়াসের ভর ও ধনাত্মক চার্জ দুইই α-কণা অপেক্ষা বেশী হওয়ায় এক্ষেত্রে বিকর্ষণ ঘটবে। ফলে α-কণার গতিপথ পরিবর্তিত হবে। বিকর্ষণ যত প্রবল হবে ততই পথবিচ্যুতির পরিমাণ বেশী হবে। বিকর্ষণ বেশী হবে যদি নিউক্লিয়াসের চার্জ বেশী হয় তবেই। সুতরাং পথবিচ্যুতির পরিমাণ থেকে নিউক্লিয়াসের চার্জের পরিমাপ করা সম্ভব।

3.2c. **নিউক্লিয়াসের গঠন** (structure of the nucleus)—পরমাণুর নিউক্লিয়াসে Z-সংখ্যক ধনাত্মক চার্জ আছে, Z = পরমাণু ক্রমাংক। Z সংখ্যক ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে শূন্যস্থানে ছড়িয়ে আছে। ইলেকট্রন প্রকৃতপক্ষে ভরহীন হওয়ায় পরমাণুর সম্পূর্ণ ভর নিউক্লিয়াসের মধ্যেই সীমিত থাকে। প্রোটন স্থায়ী ধনাত্মক কণা হওয়ায় ধরে নেওয়া যায় নিউক্লিয়াসে Z সংখ্যক প্রোটন আছে। প্রোটনের ভর মোটামুটি 1 হওয়ায় পরমাণুটির নিউক্লিয়াসের ভর হবে Z. কিন্তু হাইড্রোজেন ব্যতীত সব মৌলিক পদার্থেরই পরমাণুভার পরমাণু ক্রমাংক অপেক্ষা অনেক বেশী। যদি পরমাণুভার হয় A, তাহলে Z প্রোটন থাকায় (A – Z) একক ভরের উপস্থিতির কোনো কারণ দেখা যাচ্ছে না। এই (A – Z) একক ভরের

জন্য (A−Z) সংখ্যক নিউট্রনের উপস্থিতি কল্পনা করা হয়। একটি নিউট্রন কণার ভর 1.00866 এবং একটি প্রোটন কণার ভর 1.00732, যখন O-এর পরমাণুভার =16.0000. হাইড্রোজেন ব্যতীত সব মৌলিক পদার্থেই নিউট্রন আছে। হাইড্রোজেনের পরমাণুভার ও পরমাণু ক্রমাংক উভয়েই 1 হওয়ায় নিউট্রন থাকতে পারে না। কারণ একটি প্রোটনের ভর মোটামুটি 1. সুতরাং হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে একটিমাত্র প্রোটন ব্যতীত কিছু নেই। এই প্রোটনের থেকে দূরে অবস্থান করে একটিমাত্র ইলেকট্রন। কোনোরকমে যদি এই ইলেকট্রনকে পরমাণু থেকে বের করে দেওয়া যায় তাহলে যে হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস থাকবে সেটাই হবে প্রোটন। অতএব প্রোটন ইলেকট্রন বর্জিত একক ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট হাইড্রোজেন পরমাণু H^+. এখন থেকে প্রোটনকে H^+ লেখা হবে।

হাইড্রোজেনের পরবর্তী মৌল He—পরমাণুভার 4, পরমাণু ক্রমাংক 2. স্বভাবতই নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যা 2 এবং নিউট্রন সংখ্যা 4−2=2. দুটি প্রোটন থাকায় পরমাণুর মধ্যে নিউক্লিয়াস বহির্ভূত অঞ্চলে দুটি ইলেকট্রন থাকবে। এই দুটি ইলেকট্রনকে পরমাণুর মধ্য থেকে বের করে দিতে পারলে পাওয়া যাবে He-নিউক্লিয়াস, যার 2 একক ধনাত্মক চার্জ থাকবে—He^{+2}. এই He^{+2} এর ভর হবে 4. এই কণাই α-কণা।

Li-এর পরমাণু অংক 3। এর পরমাণুভার 7. সুতরাং এই নিউক্লিয়াসে $3H^+$ এবং 4n আছে। n=নিউট্রন। এমনিভাবে যে কোনো মৌলের নিউক্লিয়াসের গঠন নির্ণয় করা যায়।

অনেকে মনে করেন যে নিউক্লিয়াসে প্রোটন এবং নিউট্রন ছাড়াও α-কণা আছে। α-কণা অর্থে দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রনের একত্রিত অবস্থা। এর কারণ নিউক্লিয়াস থেকে α-কণা পাওয়া যায়। উপরন্তু দেখা যায়, যে সমস্ত মৌলের পরমাণুভার 4 এর পূর্ণগুণিতক তারা তুলনামূলকভাবে বেশী সুস্থিত। α-কণার ভর 4 হওয়ায় অনুমান করা হয় এই সমস্ত মৌলের পরমাণুতে কেবলমাত্র α-কণাই আছে। যেমন O-এ একটি পরমাণুতে 4টি α-কণা আছে মনে করা যায়। তাহলে মোট ভর হবে 16, নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ হবে 8 অর্থাৎ পরমাণু ক্রমাংক 8. বস্তুতপক্ষে অক্সিজেনের পরমাণু ক্রমাংক 8.

3.2d. তেজস্ক্রিয় বিয়োজন (radioactive disintegration)—রাদারফোর্ডই প্রথম পরীক্ষামূলকভাবে দেখান যে α-কণা দুটি ইলেকট্রনবর্জিত হিলিয়াম পরমাণু ছাড়া আর কিছুই নয়। আবার α-কণা পাওয়া যায় তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে। তেজস্ক্রিয় পদার্থের α-কণা বিকীরণের ঘটনা থেকে অনুমান করা শক্ত হবে না যে প্রকৃতপক্ষে পদার্থটি ভেঙে যায় এবং তার ফলে হিলিয়াম পরমাণু এবং অবশিষ্ট কোনো নতুন মৌল গঠিত হয়। ইউরেনিয়াম, থোরিয়াম প্রভৃতি তেজস্ক্রিয় ধাতুর আকরে লেড পাওয়া যায়। এই লেডকে তেজস্ক্রিয় বিকীরণের ফলে ইউরেনিয়াম বা থোরিয়াম থেকে পাওয়া গেছে—এমন মনে করার যথেষ্ট সঙ্গত কারণ

আছে। পরীক্ষামূলকভাবে দেখা গেছে যে ইউরেনিয়াম ধাতুর তেজস্ক্রিয় বিকীরণের ফলে আরও শক্তিশালী কোনো মৌল সৃষ্টি হয়। একে বলা হয় ইউরেনিয়াম-X. আবার ইউরেনিয়াম-X ও স্থায়ী মৌল নয়। এরও বিয়োজন ঘটে তেজস্ক্রিয় বিকীরণ দ্বারা এবং নতুন নতুন মৌল সৃষ্টি হয়।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে **তেজস্ক্রিয় মৌল সর্বদাই তেজস্ক্রিয় বিকীরণ দ্বারা অর্থাৎ α-ও β-কণা পরিত্যাগ করে বিয়োজিত হয় এবং নতুন মৌলে পরিণত হয়।** এই হল রাদারফোর্ড ও সডির (Rutherford and Soddy, 1903) **তেজস্ক্রিয় বিয়োজন তত্ত্ব** (radioactive disintegration theory)।

যেহেতু তেজস্ক্রিয় বিয়োজনের ফলে নতুন নতুন মৌল সৃষ্টি হয় অতএব ধরে নিতে হবে যে পরমাণুর নিউক্লিয়াস ভেঙে যাচ্ছে। কারণ একমাত্র নিউক্লিয়াসের গঠন পরিবর্তনের ফলেই নতুন মৌল সৃষ্টি সম্ভব। পরন্তু বিয়োজনের ফলে, যে α-কণা পাওয়া যায়, তার মধ্যে দুটি প্রোটন এবং দুটি নিউট্রন আছে। আগেই বলা হয়েছে যে প্রোটন বা নিউট্রন নিউক্লিয়াসে থাকে, সুতরাং তেজস্ক্রিয় বিয়োজন প্রকৃতপক্ষে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বিয়োজন। নিউক্লিয়াসের বিয়োজনের ফলে α-ও β-কণা বেরিয়ে আসে এবং অবশিষ্ট নিউক্লিয়াসের গঠন সম্পূর্ণ পাল্টে যায়। তাহলে তেজস্ক্রিয় বিয়োজনকে আমরা নীচের সমীকরণদ্বারা লিখতে পারি।

তেজস্ক্রিয় মৌল $\rightarrow$ α-কণা + নতুন মৌল

বা তেজস্ক্রিয় মৌল $\rightarrow$ β-কণা + নতুন মৌল

γ-রশ্মি সম্পূর্ণত এনার্জি হওয়ায় ধরে নেওয়া যায় তার দ্বারা নিউক্লিয়াসের গঠন পরিবর্তনের কোন সম্ভাবনা নেই।

β-কণা ইলেকট্রন। যেহেতু β-কণা পাওয়া যায় নিউক্লিয়াসের ভাঙনের ফলে সুতরাং মনে হতে পারে β-কণা বা ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের মধ্যে থাকে। বস্তুতপক্ষে নিউক্লিয়াসের মধ্যে ইলেকট্রন থাকা সম্ভব নয়। কারণ প্রোটন ও ইলেকট্রন একত্র থাকলে প্রশম কণা উৎপন্ন হয়। কিন্তু নিউক্লিয়াস ভাঙার সময়েই কোন না কোন ভাবে ইলেকট্রন উৎপন্ন হয়। নিউক্লিয়াসে প্রোটন ছাড়া নিউট্রন আছে। সুতরাং নিউট্রন থেকেই ইলেকট্রন পাওয়া যায়। আপাতদৃষ্টিতে মনে হতে পারে যে একটি নিউট্রন কণা একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রনের সমষ্টি। সুতরাং একটি β-কণা বা ইলেকট্রন ছেড়ে দিয়ে একটি নিউট্রন কণা একটি প্রোটনে পরিণত হতে পারে। পরীক্ষামূলকভাবে যদিও দেখা যায় যে প্রতি β-কণা বিকীরণের জন্য নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ 1 বেড়ে যায়, কিন্তু তাহলেও β-কণা বিকীরণের ব্যাখ্যা এত সহজ নয়। β-কণা বিকীরণ একটি জটিল পদ্ধতি। অবশ্য নিউট্রন বিয়োজনের ফলেই যে β-কণার উৎপত্তি, সেকথা ঠিক।

3.2e. আইসোটোপ (isotope)—তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায় মৌলের নিউক্লিয়াসের বিয়োজনের ফলে। সাধারণত যে সমস্ত মৌলের পরমাণুভার বেশী

তাদের ক্ষেত্রেই তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায়। অপেক্ষাকৃত কম পরমাণুভারবিশিষ্ট মৌলের মধ্যে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা লক্ষ্য করা যায় না। প্রকৃতিক মৌলগুলির মধ্যে সর্বাপেক্ষা ভারী ইউরেনিয়াম—একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ। ইউরেনিয়াম অপেক্ষা কম ভারী থোরিয়াম, অ্যাকটিনিয়াম, রেডিয়াম প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য তেজস্ক্রিয় মৌলিক পদার্থ। কিন্তু সাধারণভাবে C, O, Na, Cu প্রভৃতি মৌল তেজস্ক্রিয় নয়। এর কারণ হিসেবে বলা যায় যে নিউক্লিয়াস বড় হওয়ার সাথে সাথে, অর্থাৎ নিউক্লিয়াসে প্রোটন-নিউট্রন সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব কমে যায়। Ra, Ac, Th, U প্রভৃতি ধাতুর ক্ষেত্রে নিউক্লিয়াসগুলির স্থায়িত্ব এতই হ্রাস পায় যে স্বাভাবিকভাবেই এই নিউক্লিয়াসগুলি ভঙ্গুর অবস্থা প্রাপ্ত হয়। ফলে তেজস্ক্রিয়তা দেখা দেয়। তেজস্ক্রিয় বিয়োজনের ফলে কি অবস্থা হয় সেকথা আমরা আগেই বলেছি। U ধাতুর পরমাণুভার 238 এবং পরমাণু ক্রমাংক 92 অর্থাৎ U ধাতুর নিউক্লিয়াসে 92টি প্রোটন আছে। এই ইউরেনিয়ামের একটি পরমাণু α-কণা বিকীরণ করে ইউরেনিয়াম এক্স (UX) উৎপন্ন করে। UX একটি নতুন পরমাণু। একটি α-কণার ভর 4 ও প্রোটন সংখ্যা 2. অতএব এই UX পরমাণুর ভর হবে $238-4$ বা 234 এবং প্রোটনসংখ্যা হবে $92-2$ বা 90. 90 প্রোটন সংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণুর পরমাণু ক্রমাংক 90. সুতরাং

$$_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}UX^{234} + {}_{2}He^{4}$$

পরমাণু ক্রমাংক 90 হওয়ায় UX পর্যায় সারণীর 90 নম্বর ঘর অধিকার করবে। অর্থাৎ এই বিয়োজনের ফলে পর্যায় সারণীর 90 নম্বর ঘরে যে মৌল আছে তাই তৈরী হবে। 90 পরমাণু ক্রমাংকবিশিষ্ট মৌলের নাম থোরিয়াম (Th). সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে UX এবং Th একই মৌলিক উপাদান। কিন্তু প্রাকৃতিক Th-এর পরমাণুভার 232, আর U^{238} থেকে প্রাপ্ত Th-এর পরমাণুভার 234. তাহলে দেখা যাচ্ছে যে পর্যায় সারণীর একই ঘরে দুরকম পরমাণুভারবিশিষ্ট একই মৌল পাওয়া যায়। যেমন এই ক্ষেত্রে $_{90}Th^{234}$ এবং $_{90}Th^{232}$।

এই রকম **বিভিন্ন পরমাণুভারবিশিষ্ট একই মৌলিক পদার্থের বিভিন্ন প্রকারকে আইসোটোপ** (isotope) **বলে**। উপরের উদাহরণে থোরিয়ামের দুটি আইসোটোপ দেখা যাচ্ছে।

$_{90}Th^{234}$ যদি একটি β-কণা পরিত্যাগ করে তাহলে ভরের কোন পরিবর্তন হবে না, কিন্তু প্রোটন সংখ্যা 1 বেড়ে যাবে। তখন 91 প্রোটন সংখ্যা বা পরমাণু ক্রমাংকবিশিষ্ট প্রোটোঅ্যাকটিনিয়ামের আইসোটোপ পাওয়া যাবে। এই $_{91}Pa^{234}$ আবার β-বিকীরণ করে $_{92}U^{234}$এ পরিণত হবে। তাহলে ইউরেনিয়ামের আইসোটোপ পাওয়া যাবে। এমনিভাবে তেজস্ক্রিয় বিয়োজনের ফলে আইসোটোপ প্রথম আবিষ্কৃত হয়। একই মৌলিক পদার্থের ভিন্ন ভিন্ন পরমাণুভারবিশিষ্ট পরমাণুর অস্তিত্ব তেজস্ক্রিয় মৌলের ক্ষেত্রে আবিষ্কৃত হওয়ার পর অ-তেজস্ক্রিয় মৌলের মধ্যে

আইসোটোপের অস্তিত্ব আবিষ্কার করার চেষ্টা সুরু হয়। একথা আমরা পরে আলোচনা করব।

3.21. তেজস্ক্রিয় সরণ সূত্র (radioactive displacement law)— উপরের আলোচনা থেকে একথা স্পষ্ট হয়েছে যে, **কোন পরমাণু একটি α-কণা বিকীরণ করলে তার পরমাণু ক্রমাংক 2 এবং পরমাণুভার 4 কমে যায় আর β-কণা বিকীরণ করলে পরমাণুভার ঠিকই থাকে, কিন্তু পরমাণু ক্রমাংক 1 বেড়ে যায়। অর্থাৎ α-কণা বিকীরণের ফলে কোনো মৌলিক পদার্থ পর্যায় সারণীর 2 ঘর পিছনে সরে যায় আর β-কণা বিকীরণের ফলে কোনো মৌলিক পদার্থ পর্যায় সারণীর 1 ঘর সন্মুখে সরে যায়।** এই সূত্রকে **তেজস্ক্রিয় সরণ সূত্র** (Radioactive displacement law) বা **সডির তেজস্ক্রিয় সরণ সূত্র** (Soddy's law of radioactive displacement) বলে।

সডির সূত্র থেকে কোন মৌলের তেজস্ক্রিয় বিয়োজনের ফলে কোন্ নতুন মৌল তৈরী হবে তা সহজেই নির্ণয় করা যাবে। যেমন,

$${}_{92}U_1 \xrightarrow{-\alpha} {}_{90}UX_1 \xrightarrow{-\beta} {}_{91}UX_2 \xrightarrow{-\beta} {}_{92}U_2 \xrightarrow{-\alpha} {}_{90}Io \text{ (আয়োনিয়াম)} \xrightarrow{-\alpha}$$

$${}_{88}Ra \xrightarrow{-\alpha} {}_{86}Rn \xrightarrow{-\alpha} {}_{84}Ra\text{-}A \xrightarrow{-\alpha} {}_{82}Ra\text{-}B \xrightarrow{-\beta} {}_{83}Ra\text{-}C \xrightarrow{-\beta} {}_{84}Ra\text{-}C' \xrightarrow{-\alpha}$$

$${}_{82}Ra\text{-}D \xrightarrow{-\beta} {}_{82}Ra\text{-}E \xrightarrow{-\beta} {}_{84}Ra\text{-}F \xrightarrow{-\alpha} {}_{82}Ra\text{-}G(Pb)$$

অথবা

$${}_{90}Th \xrightarrow{-\alpha} {}_{88}MsTh' \xrightarrow{-\beta} {}_{89}MsTh \text{ (মেসোথোরিয়াম)} \xrightarrow{-\beta} {}_{90}Ra\text{-}Th \xrightarrow{-\alpha}$$

$${}_{88}Th\text{-}X \xrightarrow{-\alpha} {}_{86}Thn \text{ (থোরন)} \xrightarrow{-\alpha} {}_{84}Th\text{-}A \xrightarrow{-\alpha} {}_{82}Th\text{-}B \xrightarrow{-\beta} {}_{83}Th\text{-}C$$

$$\xrightarrow{-\beta-\alpha \text{ বা } -\alpha-\beta} {}_{82}Th\text{-}D(Pb)$$

অথবা

$$U235 \xrightarrow{-\alpha} {}_{90}UY \xrightarrow{-\beta} {}_{91}Pa \xrightarrow{-\alpha} {}_{89}Ac \xrightarrow{-\beta} {}_{90}Ra\text{-}Ac \xrightarrow{-\alpha} {}_{88}AcX \xrightarrow{-\alpha}$$

$${}_{86}Acn \xrightarrow{-\alpha} {}_{84}Ac\text{-}A \xrightarrow{-\alpha} {}_{82}Ac\text{-}B \xrightarrow{-\beta} {}_{83}Ac\text{-}C \xrightarrow{-\beta-\alpha \text{ বা } -\alpha-\beta} {}_{82}Pb$$

উপরে যে তিনটি শ্রেণীর বিয়োজন দেখানো হল এরা তিনটি ভিন্ন নামে পরিচিত—U-শ্রেণী, Th-শ্রেণী ও Ac-শ্রেণী। এই তিনটি শ্রেণীকে **প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় শ্রেণী** (natural radioactive series) বলা হয়। লক্ষ্য করলে দেখা

যায় যে তিনটি শ্রেণীরই শেষ উপাদান Pb. Pb-এর আর বিয়োজন হয় না। অর্থাৎ শেষ উপাদান Pb অ-তেজস্ক্রিয়।

3.2g. অ-তেজস্ক্রিয় মৌলিক পদার্থসমূহের আইসোটোপ (isotopes of . non-radioactive elements)—Pb একটি অ-তেজস্ক্রিয় মৌল। U, Th বা Ac-এর ক্রমান্বয়ী বিয়োজনের শেষ উপজাত দ্রব্য! এই তিনটির আকর থেকে যে Pb পাওয়া যায় তাদের পরমাণুভার বিভিন্ন 206, 208 ও 207. সাধারণ Pb-এর পরমাণুভার 207.21. সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে আমরা Pb-এর তিনটি আইসোটোপ পেতে পারি। সাধারণ মৌল লেডের মধ্যে তিনরকমের পরমাণু পাওয়ায় অন্যান্য সাধারণ মৌলের মধ্যেও বিভিন্ন ভরের পরমাণু পাওয়া যেতে পারে এমন সন্দেহ করা যায়। 206, 207 বা 208-এর প্রত্যেককে আইসোটোপ পরমাণুর **ভরসংখ্যা** (mass number) বলা যেতে পারে। আর গড় পরমাণুভারকেই (207.21) কেবলমাত্র পরমাণুভার বলা হবে। সাধারণভাবে দেখা যায় ভরসংখ্যা একটি পূর্ণসংখ্যা হয়। সেক্ষেত্রে যে সমস্ত মৌলিক পদার্থের পরমাণুভারে ভগ্নাংশ আছে (যেমন Cl—35.457) তাদের মধ্যে আইসোটোপ পাবার সম্ভাবনা বেশী।

অ-তেজস্ক্রিয় মৌলসমূহে আইসোটোপের অনুসন্ধান ভৌতপদ্ধতিতে **ভর বর্ণালী-লেখ** (mass spectrograph) দ্বারা করা হয়। ডিসচার্জ টিউবে যে পজিটিভ রশ্মি পাওয়া যায় সেই রশ্মির কণাগুলো ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট পরমাণু (অর্থাৎ ইলেক্ট্রন বর্জিত পরমাণু)। এগুলি ডিসচার্জ টিউবের মধ্যস্থিত গ্যাসের পরমাণু। এই পজিটিভ রশ্মিকে তড়িৎ ও চুম্বকক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে এমনভাবে চালনা করা হয় যাতে একটি পর্দার বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন ভরসংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণুগুলি আঘাত করে। এই পর্দার পরিবর্তে যদি ফোটোফিল্ম নেওয়া হয় তাহলে যে ছবি পাওয়া যাবে তাতে দেখা যাবে ভিন্ন ভিন্ন স্থানে ভিন্ন ভিন্ন আইসোটোপের ছবি উঠেছে। এ থেকে ভিন্ন ভিন্ন আইসোটোপের ভরসংখ্যা সহজেই নির্ণয় করা যাবে। শুধু তাই নয় ছবির তীব্রতা থেকে কোন আইসোটোপ কি পরিমাণ আছে তাও জানা যাবে। এই ছবিকে **ভরবর্ণালী** (mass spectrum) বলা হয়। ভরবর্ণালী বিশ্লেষণে দেখা যায় মোটামুটি 20টি সরল মৌলিক পদার্থ ব্যতীত সকল মৌলিক পদার্থেরই দুই বা তার বেশী আইসোটোপ আছে। টিনের ক্ষেত্রে এই সংখ্যা দশ। বিভিন্ন মৌলের আইসোটোপের ভরসংখ্যা যদি এক হয়, যেমন A40, K40 তাহলে তাদের **আইসোবার** (isobar) বলা হয়।

3.2h. ভৌত ও রাসায়নিক পরমাণুভার (physical and chemical atomic weights)—পারমাণবিক ওজন সম্পর্কে আগেই বলা হয়েছে যে O পরমাণুর ওজন 16.0000 ধরে বিভিন্ন পরমাণুর ওজন নির্ণয় করা হয়। কিন্তু O-এর দুটি আইসোটোপ আছে যাদের ভরসংখ্যা যথাক্রমে 16 ও 18. এদের গড় 16 অপেক্ষা কিছু বেশী হবে। তাহলেও রাসায়নিক ক্রমে সাধারণ অক্সিজেন পরমাণুর

ভর 16.0000 ধরা হয় আর ভৌত ক্রমে কেবলমাত্র 16 ভরসংখ্যাবিশিষ্ট অক্সিজেন পরমাণুর ভরই 16.0000 ধরা হয়। স্বভাবতই ভৌত ক্রমের পরমাণুভার রাসায়নিক ক্রমের পরমাণুভার অপেক্ষা বেশী। সাধারণত দেখা যায় কোন মৌলের ভৌত পরমাণুভার সেই মৌলের রাসায়নিক পরমাণুভারের 1.00027 গুণ। ভৌতক্রমে প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 1.00759 এবং 1.00893.

3.2i. **ভরসংখ্যা ও প্যাকিং ভগ্নাংশ** (mass number and packing fraction)—কোন আইসোটোপের পরীক্ষালব্ধ পরমাণুভারের নিকটতম পূর্ণসংখ্যাকে বলে ঐ আইসোটোপের **ভরসংখ্যা**। বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে এই পূর্ণসংখ্যা অর্থাৎ ভরসংখ্যা আইসোটোপের প্রকৃত পরমাণুভার অপেক্ষা বেশী। নিউক্লিয়াস প্রোটন ও নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত। প্রোটন ও নিউট্রনের প্রত্যেকের ভর 1-এর থেকে অল্প বেশী। সুতরাং পরমাণুভার ভরসংখ্যার থেকে অল্প বেশী হওয়াই সঙ্গত। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে হয় বিপরীত। এই বৈপরীত্যের কারণ হিসেবে বলা যায় যে প্রোটন ও নিউট্রনের পারস্পরিক সমন্বয়ের সময়ে ভরের কিছু অংশ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই শক্তিই নিউক্লিয়াসে প্রোটন-নিউট্রনকে একত্র রাখে। এই শক্তি যে নিউক্লয়াসের ক্ষেত্রে যত বেশী সেই নিউক্লিয়াস তত বেশী স্থায়ী, আর যার যত কম সেই নিউক্লিয়াস তত ভঙ্গুর।

নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব পরিমাপক **প্যাকিং ভগ্নাংশের** (packing fraction) সংজ্ঞা নিরূপণ করেন আস্টন (1927). তাঁর মতে

$$\text{প্যাকিং ভগ্নাংশ} = \frac{\text{আইসোটোপের ভৌত পরমাণুভার} - \text{ভরসংখ্যা}}{\text{ভরসংখ্যা}} \times 10^4$$

প্যাকিং ভগ্নাংশের সংজ্ঞা থেকে মোটামুটি দেখা যায় যে অধিকাংশ মৌলের ক্ষেত্রে এর মান হবে ঋণাত্মক, কারণ আইসোটোপের ভৌত পরমাণুভার অধিকাংশ ক্ষেত্রে ভরসংখ্যার থেকে কম। যে সমস্ত মৌলিক পদার্থের প্যাকিং ভগ্নাংশ অপেক্ষাকৃত বেশী সেই সমস্ত উপাদান বেশী ভঙ্গুর। পরমাণুভার যে সমস্ত উপাদানের খুব বেশী, যেমন—U, Th, Ra প্রভৃতি, সেই সমস্ত উপাদানের প্যাকিং ভগ্নাংশও ধনাত্মক। এর অর্থ এই সমস্ত উপাদানের নিউক্লিয়াসগুলি অস্থায়ী। এই কারণেই এই নিউক্লিয়াসগুলির স্বতবিয়োজন ঘটে, যার ফলে তেজস্ক্রিয়তা দেখা দেয়।

3.2j. **আইসোটোপ পৃথকীকরণ** (separation of isotopes). সাধারণ মৌলগুলিতে আইসোটোপের অস্তিত্ব সম্পর্কে নিশ্চিত হবার পর আইসোটোপ পৃথকীকরণের জন্য বৈজ্ঞানিকদের চেষ্টা সুরু হয়। বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। নীচে সংক্ষেপে কয়েকটি আলোচনা করা হল।

সাধারণ হাইড্রোজেনের ভরসংখ্যা 1, কিন্তু ভারী হাইড্রোজেনের ভরসংখ্যা 2. ভারী হাইড্রোজেনের অপর নাম ডয়টেরিয়াম (Deuterium)। ডয়টেরিয়াম হাইড্রোজেনের দ্বিগুণ ভারী হওয়ায় দুইয়ের মধ্যে ভৌত ধর্মে প্রভূত পার্থক্য

পরিলক্ষিত হয়। হাইড্রোজেন ও ডয়টেরিয়াম একই মৌলের আইসোটোপ হওয়ায় যেখানে হাইড্রোজেন পাওয়া যায় সেখানে কিছু পরিমাণে ডয়টেরিয়ামও (D) পাওয়া যাবে। জলের তড়িৎবিশ্লেষণে প্রথম দিকে হাল্কা হাইড্রোজেন বেশী পরিমাণে পাওয়া যাবে, কিন্তু শেষ দিকে বেশী পাওয়া যায় ডয়টেরিয়াম। অবশ্য সামান্য ডয়টেরিয়াম পাবার জন্য প্রচুর পরিমাণ জলকে তড়িৎবিশ্লেষিত করতে হয়, কারণ হাইড্রোজেনের তুলনায় ডয়টেরিয়াম পাওয়া যায় অতি সামান্য পরিমাণে।

গ্যাসীয় অইসোটোপ পৃথকীকরণের একটি ভালো পদ্ধতি **ব্যাপন** (diffusion)। ভারী আইসোটোপ কম পরিমাণে এবং হাল্কা আইসোটোপ বেশী পরিমাণে পাওয়া যাবে ব্যাপনের ফলে। কিন্তু অবশিষ্ট গ্যাসে ভারী আইসোটোপের পরিমাণ অপেক্ষাকৃত বেশী হবে। UF_6 গ্যাসের ব্যাপনের ফলে U^{238} থেকে U^{235} পৃথক করা সম্ভব হয়েছে।

বিভিন্ন আইসোটোপের ভর পার্থক্য হেতু রাসায়নিক ক্রিয়াশীলতায় কিছু কিছু পার্থক্য দেখা যায়। এই তথ্যকে কাজে লাগিয়ে আইসোটোপ পৃথক করা সম্ভব। অক্সিজেনের দুটি আইসোটোপ আছে, O^{16} ও O^{18}. বায়ুর অক্সিজেনে দুটিই আছে তবে O^{16} O^{18} অপেক্ষা বহুগুণে বেশী। জলেও দুটিই আছে। জলের মধ্যে যদি কিছু পরিমাণ বায়বীয় অক্সিজেন পাঠানো যায় তাহলে জলের অক্সিজেন পরমাণুর পরিবর্তন ঘটতে পারে—O^{18} এর পরিবর্তে O^{16}. জল থেকে বেশী পরিমাণে O^{18} বেরিয়ে আসবে আর বায়ু থেকে বেশী পরিমাণে O^{16} কমে যাবে। এর কারণ O^{16}, O^{18} এর থেকে বেশী ক্রিয়াশীল। এমনি করে সাম্যাবস্থায় গ্যাসের মধ্যে অপেক্ষাকৃত বেশি পরিমাণে O^{18} পাওয়া যাবে।

অত্যল্প চাপে পাতনক্রিয়ার ফলে Hg, Zn, K এবং Cl এর আইসোটোপ পৃথক করা যায়। আংশিক পাতনক্রিয়ার ফলে নিয়ন এবং হাইড্রোজেনের আইসোটোপ পৃথক করা যায়।

এছাড়া আরো কয়েকটি পদ্ধতির ব্যবহার আছে। যেমন, তাপ-ব্যাপন, আলোক-রাসায়নিক পদ্ধতি এবং আংশিক পাতন।

3.2k আইসোটোপের ব্যবহার—আইসোটোপের, বিশেষ করে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের ব্যবহার বহুবিধ। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সাহায্যে প্রায়শই রাসায়নিক বিক্রিয়ার ব্যাখ্যা সন্ধান করা হয়। যেমন জৈব অ্যাসিড ও অ্যালকোহলের সংযোগে উৎপন্ন হয় এস্টার এবং এক অণু জল। এই জলে যে O আছে তা অ্যাসিড বা অ্যালকোহল থেকে প্রাপ্ত তা সহজেই বোঝা যায় তেজস্ক্রিয় O^{18} আইসোটোপের সাহায্যে। O^{18} বিশিষ্ট অ্যালকোহল নেওয়া হয় এবং উৎপন্ন জলে যদি O^{18} না থাকে তাহলে বুঝতে হবে O এসেছে অ্যাসিড থেকে। O^{18} কে O^* লিখলে,

$$CH_3COOH + C_2H_5O^*H = CH_3COO^*C_2H_5 + H_2O.$$

তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের পরিমাণ নির্ণয় করা যায় তার তেজস্ক্রিয়তার পরিমাপ দ্বারা। সুতরাং অল্পদ্রাব্য কোন পদার্থের দ্রাব্যতা নিরূপণ করা যাবে সেই অল্পদ্রাব্য পদার্থের একটি মৌলকে তেজস্ক্রিয় অবস্থায় নিলে। যেমন সাধারণ Sr এর সাথে কিছু তেজস্ক্রিয় Sr মিশিয়ে তাকে সালফেটে পরিণত করে উৎপন্ন $SrSO_4$ এর জলীয় দ্রবণে তেজস্ক্রিয়তা মেপে নিলে নির্দিষ্ট পরিমাণ জলে দ্রাবিত $SrSO_4$ এর পরিমাণ জানা যাবে এইভাবে—প্রথমে সাধারণ Sr ও তেজস্ক্রিয় Sr এর মিশ্রণে দুটির পারস্পরিক পরিমাণ জানা থাকবে। এখন দ্রবণে তেজস্ক্রিয় Sr এর পরিমাণ নির্ণয় করা হল। এবার এই পরিমাণ থেকে দ্রবণে মোট Sr এর পরিমাণ জানা যাবে। সুতরাং $SrSO_4$ এর পরিমাণও জানা যাবে।

তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ থেকে α-ও β-কণা পাওয়া যায়। এই কণাগুলি আবার বিভিন্ন কাজে ব্যবহার করা যয়।

খনিজ পদার্থের তেজস্ক্রিয়তা থেকে তাদের বয়স নির্ণয় করা যায়।

পারমাণবিক বোমা তৈরীতে আইসোটোপের ব্যবহার আছে।

3.2। **তেজস্ক্রিয় মৌলের গড় আয়ু ও অর্ধায়ু** (average life and half life of radioactive substance)—তেজস্ক্রিয় বিয়োজন বিক্রিয়া পরীক্ষামূলকভাবে দেখা গেছে প্রথম ক্রমের (first order)। যদি প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের N হয় তাহলে

$$-\frac{dN}{dt}\propto N$$

$$\text{বা}\quad -\frac{dN}{dt}=\lambda N \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (3.11)$$

λ=**তেজস্ক্রিয়তা ধ্রুবক** (radioactive constant)। এই ধ্রুবকের মান বিভিন্ন মৌলের ক্ষেত্রে বিভিন্ন প্রকার হয়। যে কোনো একটি নির্দিষ্ট মৌলের ক্ষেত্রে λ একটি নির্দিষ্ট ধ্রুবক সংখ্যা। সুতরাং λ এক একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি বিশিষ্ট ধর্ম। $1/\lambda$ কে সাধারণত কোন তেজস্ক্রিয় উপাদানের **গড় আয়ু** বলা হয়। প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া কখনও সম্পূর্ণ হয় না। এই বিক্রিয়া চলে অসীম সময় পর্যন্ত। তাই বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই **অর্ধায়ু** (half life) নির্ণয় করা হয়—অর্থাৎ অর্ধেক বিয়োজিত হতে কত সময় লাগে। অর্ধায়ু একটি নির্দিষ্ট সময়। যে কোন তেজস্ক্রিয় উপাদনের অর্ধায়ু তার স্থায়িত্বের নির্দেশক। এই অর্ধায়ু বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় উপাদানের ক্ষেত্রে বিভিন্ন—কয়েক সেকেণ্ড থেকে সুরু করে কয়েক কোটি বছর পর্যন্ত।

কোনো তেজস্ক্রিয় উপাদানের বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন নতুন মৌলটি যদি তেজস্ক্রিয় হয় তাহলে তারও বিয়োজন হবে একই সাথে। যদি এই দুটি মৌলের

বিয়োজন হার একই হয় তাহলে **তেজস্ক্রিয় সাম্য** (radioactive equilibrium) প্রতিষ্ঠিত হয়। সাম্যাবস্থায়

$$-\frac{dN_1}{dt}=-\frac{dN_2}{dt}=\cdots\cdots \quad \cdots \quad \cdots \qquad (3\ 12)$$

$$\text{অথবা} \quad \lambda_1 N_1=\lambda_2 N_2= \cdots\cdots \quad \cdots \quad \cdots \qquad (3.13)$$

1, 2 সংখ্যাগুলি যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় উপাদানকে নির্দেশ করে।

3.2m. **মৌলের কৃত্রিম বিয়োজন** (artificial transmutation of elements)—মৌল স্বতবিয়োজিত হলে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা লক্ষ্য করা যায়। এই ধরণের বিয়োজনকে **প্রাকৃতিক বিয়োজন** বলা হয়। প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় মৌলসমূহ থেকে পাওয়া যায় α-ও β-কণা। এই কণাগুলি মৌলের **কৃত্রিম রূপান্তর** (artificial transmutation) ঘটাতে সক্ষম। α-ও β-কণা ছাড়া প্রোটন, নিউট্রন ও ডয়টেরন নিউক্লিয়াসও উপাদানের কৃত্রিম রূপান্তর ঘটানোর জন্য ব্যবহার করা হয়। অনেক সময় এই কণাগুলি সাধারণ অবস্থায় রূপান্তর ঘটাতে পারে না। এজন্য প্রথমে এদের দ্রুতগতিসম্পন্ন করে নিতে হয়। এজন্য বিভিন্ন যন্ত্র আবিষ্কৃত হয়েছে। সাইক্লোট্রোন, বিটাট্রোন প্রভৃতি যন্ত্রে যথাক্রমে α-ও β-কণাকে দ্রুতগতি সম্পন্ন করা যায়।

রাদারফোর্ড (1919) প্রথম লক্ষ্য করেন যে দ্রুতগতিসম্পন্ন α-কণা যদি সাধারণ নাইট্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে আঘাত করে তাহলে প্রোটন এবং অক্সিজেন পাওয়া যায়। এই অক্সিজেন সাধারণ অক্সিজেনের থেকে ভিন্ন।

$${}_7N^{14}+{}_2He^4={}_8O^{17}+{}_1H^1$$

এক্ষেত্রে নাইট্রোজেনের রূপান্তর ঘটলো কৃত্রিমভাবে।

α-কণা-নিউক্লিয়াস সংঘর্ষে যে সবসময় প্রোটন হবে এমন কোন কথা নেই। নীচের উদাহরণগুলিতে নিউট্রন উৎপন্ন হতে দেখা যায়।

$${}_4Be^9+{}_2He^4={}_6C^{12}+{}_0n^1$$

$${}_5B^{10}+{}_2He^4={}_7N^{13}+{}_0n^1$$

দ্রুতগতি নিউট্রন কণা Alকে Mg-এ রূপান্তরিত করে এবং দ্রুতগতি ডয়টেরন কণা C^{13}-কে C^{14}-এ পরিণত করে।

$${}_{13}Al^{27}+{}_0n^1={}_{12}Mg^{27}+{}_1H^1$$
$${}_6C^{13}+{}_1D^2={}_6C^{14}+{}_1H^1$$

এছাড়া আরও বহু বিক্রিয়া দ্বারা মৌলসমূহ কৃত্রিমভাবে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হতে পারে। যেমন

$${}_4Be_9+{}_1H^1={}_3Li_6+{}_2He^4$$
$${}_6C^{12}+{}_1H^1={}_7N^{13}$$

$$_1D^2 + {}_1D^2 = {}_1H^3 + {}_1H^1$$

$$_{15}P^{31} + {}_0n^1 = {}_{15}P_{32}$$

3.2n. **কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা** (artificial radioactivity)—$_5B^{10}$ এর উপর α-কণার সংঘর্ষের ফল হিসেবে যে $_7N^{13}$ পাওয়া যায় তা নাইট্রোজেনের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ। কারণ উৎপন্ন নাইট্রোজেন নিজেই তেজস্ক্রিয় এবং তেজস্ক্রিয় বিয়োজনের সূত্র অনুসারে বিয়োজিত হয়। এই আইসোটোপ অবশ্য খুব বেশী স্থায়ী নয়। $_7N^{13}$ উৎপন্ন হবার সময় থেকেই পজিট্রন (β^+) বিকীরণ করে।

$$_7N^{13} = {}_6C^{13} + \beta^+$$

তাহলে দেখা যাচ্ছে যে সাধারণ অতেজস্ক্রিয় নাইট্রোজেনেরও কৃত্রিমভাবে তৈরী তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ সৃষ্টি করা যায় এবং উৎপন্ন তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ তেজস্ক্রিয়তা সূত্র মেনে চলে। এই ঘটনাকে **কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা** বা **আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা** (artificial or induced radioactivity) বলে। সাধারণ মৌলের কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বহুক্ষেত্রেই ক্ষণস্থায়ী হয়। Mg ও α-কণার সংঘর্ষে উৎপন্ন Si তেজস্ক্রিয় হয় এবং পজিট্রন বিকীরণ করে।

$$_{12}Mg^{24} + {}_2He^4 = {}_{14}Si^{27} + {}_0n^1$$

$$_{14}Si^{27} = {}_{13}Al^{27} + \beta^+$$

যদিও উপরের দুটি উদাহরণেই পজিট্রন বিকীরণের কথা বলা হল, তাহলেও কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা কেবলমাত্র পজিট্রন বিকীরণেই সীমাবদ্ধ নয়। অনেক ক্ষেত্রে β-কণা বিকীরণ ঘটে। যেমন Al ও n-কণার সংঘর্ষের ফলে উৎপন্ন রেডিয়োসোডিয়াম β-কণা বিকীরণ করে।

$$_{13}Al^{27} + {}_0n^1 = {}_{11}Na^{24} + {}_2He^4$$

$$_{11}Na^{24} = {}_{12}Mg^{24} + \beta$$

কিংবা

$$_{35}Br^{79} + {}_0n^1 = {}_{35}Br^{80}$$

$$_{35}Br^{30} = {}_{36}Kr^{80} + \beta$$

পারমাণবিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন দ্রব্য ও বিক্রিয়ক দ্রব্যের ভরে কিছু পার্থক্য দেখা যায়। সাধারণত উৎপন্ন দ্রব্যের সম্পূর্ণ ভর বিক্রিয়ক দ্রব্যের সম্পূর্ণ ভর অপেক্ষা কম হয়। ফলে কিছু পরিমাণ ভরের বিলুপ্তি ঘটে। এই বিলুপ্ত ভর প্রকৃতপক্ষে শক্তিরূপে (তাপ বা আলোক) বিকীর্ণ হয়। পরীক্ষামূলকভাবে দেখা গেছে যে এই ধরনের বিক্রিয়ায় বিলুপ্তভরের সমতুল্য শক্তি পাওয়া যায়।

পারমাণবিক বিক্রিয়ার একটি বিশিষ্ট উদাহরণ U^{235} ও n-কণার সংঘর্ষবিক্রিয়া। U^{235} নিউট্রন কণাকে নিউক্লিয়াসের মধ্যে আবদ্ধ করে। এর ফল হিসেবে নিউক্লিয়াস

হয়ে যায় একেবারে অস্থায়ী এবং সঙ্গে সঙ্গে ভাঙতে সুরু করে। ভাঙনের ফলে U^{235} অপেক্ষা কম ভরবিশিষ্ট বহু পরমাণুর সৃষ্টি হয়। প্রকৃতপক্ষে এই ভাঙনের ফলে Br থেকে La পর্যন্ত প্রায় সব মৌলই পাওয়া যায়। এই ভাঙনের সময়ে ভরবিলুপ্তি ঘটে অধিক পরিমাণে। ফলে শক্তি (তাপ) উদ্ভূত হয় প্রভূত পরিমাণে। উদ্ভূত শক্তির ধ্বংসক্ষমতা অত্যন্ত বেশী হওয়ার জন্য এই বিক্রিয়াকে পরমাণু বোমা নিক্ষেপের কাজে লাগানো হয়। U^{235} পরমাণু বোমা তৈরীতে ব্যবহার করা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. ক্যাথোড রশ্মি কাকে বলে ? অ্যানোড রশ্মির সাথে এর পার্থক্য কি ? ক্যাথোড ও অ্যানোড রশ্মি কিভাবে পাওয়া যায় ? ক্যাথোড রশ্মি থেকে কিভাবে এক্স-রশ্মি পাওয়া যায় ?

   What is cathode ray ? How does it differ from anode ray ? How are these rays produced ? How is X-ray obtained from cathode rays ?
   [সংকেত : 3.1a, 3.1b এবং 3.1d পরিচ্ছেদ দেখ।]

2. ইলেকট্রন কি ? ইলেকট্রনের তড়িৎ পরিমাণ কত ? ইলেকট্রনের কি ভর আছে ?

   What is electron ? What is the amount of charge carried by an electron ? Does electron possess a mass ?
   [সংকেত : 3.1a, 3.1b এবং 3.1c পরিচ্ছেদ দেখ।]

3. পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন ব্যতীত আর কি কি কণা আছে ? সেই কণাগুলির চরিত্র কিরূপ ?

   What are the particles, other than electron, fonnd in an atom ? Describe the characteristics of those particles,
   (সংকেত : 3.1d এবং 3.1e পরিচ্ছেদ দেখ।)

4. মোজলের সম্পর্ক লেখ। পর্যাবৃত্ত সূত্র মোজলের আবিষ্কারের ফলে কিভাবে সংশোধিত হয় ?

   State the Moseley relation. How had the periodic law been changed due to the discovery by Moseley ?
   (সংকেত : 3.1f পরিচ্ছেদ দেখ।)

5. তেজস্ক্রিয়তা কাকে বলে ? তেজস্ক্রিয় রশ্মির চরিত্র কি ? α ও β কণা সম্পর্কে যা জান লেখ।

   What is radioactivity ? What are the properties of the radioactive rays ? Write what you know about α and β particles.
   (সংকেত : 3.2a পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।)

6. পরমাণুর নিউক্লিয়ার তত্ত্ব কে আবিষ্কার করেন ? এই তত্ত্ব অনুসারে নিউক্লিয়াসের গঠন কিরূপ হবে ? নিউক্লিয়ার তত্ত্বদ্বারা কিভাবে α-কণা বিক্ষেপণের ঘটনাকে ব্যাখ্যা করা যায় ?

   Who did propound the theory of the nuclear structure of the atom ? What will be the structure of a nucleus according to this theory ? How

can the phenomenon of the scattering of α-particles be explained in the light of this theory ?
(সংকেত : 3.2b পরিচ্ছেদ দেখ ।)

7. আইসোটোপ বলতে কি বোঝ ? আইসোটোপ কিভাবে আবিষ্কৃত হয় ?
What is istope ? How was it discovered ?
(3.2e পরিচ্ছেদ দেখ ।)

8. তেজস্ক্রিয় বিয়োজন বলতে কি বোঝ ? নিউক্লিয়াস কি ভাবে α-ও β-কণা বিকীরণ করে ? তেজস্ক্রিয় সরণ সূত্র বর্ণনা কর। নীচের সমীকরণগুলিতে শূন্যস্থান পূর্ণ কর।

What do you understand by radioactive disintegration ? How does nucleus emit α and β-particles ? Fill up the blanks in the following equations,

$${}_{6}C^{12} + {}_{1}D^{2} = - + {}_{1}H^{1}\ ;\ {}_{79}Au^{197} + {}_{0}n^{1} = -\ ;$$

$${}_{11}Na^{24} = - + \beta\ ;\ {}_{82}Pb^{210} = - \beta^{-}$$

[Ans. ${}_{6}C^{14}$, ${}_{79}Au^{198}$, ${}_{12}Mg^{24}$, ${}_{83}Bi^{210}$.]

(সংকেত : 3 2d এবং 3.2f পরিচ্ছেদ দেখ ।)

9. ${}_{88}Ra^{226}$ তেজস্ক্রিয় বিকীরণের ফলে শেষ পর্যন্ত ${}_{82}Pb^{206}$এ পরিণত হয়। এই পক্রিয়ার কটি α-ও কটি β-কণা বিকীর্ণ হয় ?

How much α & β-particles are emitted in the transformation of ${}_{88}Ra^{226}$ to ${}_{82}Pb^{206}$? [$5\alpha + 5\beta$]

10. ভৌত পরমাণুভার কি ? প্যাকিং ভগ্নাংশ কাকে বলে ? প্যাকিং ভগ্নাংশের প্রয়োজনীয়তা কি ?
What is physical atomic weight ? What is packing fraction ? What is the importance of packing fraction ?
(সংকেত : 3.2h এবং 3.2i পরিচ্ছেদ দেখ ।)

11. তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক কি ? এই ধ্রুবকের সাথে গড় আয়ুর কি সম্পর্ক ? অর্ধায়ু কাকে বলে ?
What is radioactive constant ? How is it related to the average life of a radioactive substance ? What is the half life ?
(সংকেত : 3 2l পরিচ্ছেদ দেখ ।)

12. উপাদানের কৃত্রিম রূপান্তর সম্পর্কে যা জান লেখ।
Write what you know about artificial transmutation of elements.
(সংকেত : 3.2m পরিচ্ছেদ দেখ ।)

13. টীকা লেখ—পরমাণু অংক (ক. বি. 1962), আইসোটোপ (ক. বি. 1962)

Write short notes on—atomic number (C. U. 1962), isotope (C. U. 1962)
(সংকেত : পর্যায় সারণীতে অধিকৃত ঘরসংখ্যা। 2.11 পরিচ্ছেদ ।)

14. ব্যাখ্যা কর—সডির সরণ সূত্র (ক. বি. 1966)

State and illustrate—Soddy's displacement law (C. U. 1966)
(সংকেত : 3.2f পরিচ্ছেদ দেখ ।)

15. তেজস্ক্রিয়তা বলতে কি বোঝ? ব্যাখ্যা সহ লেখ: সডির সরণ সূত্র। (ক. বি. 1968)

What do you understand by radioactivity? State and illustrate Soddy's displacement law.

(সংকেত: 3.2a এবং 3.2f পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।)

16. টীকা লেখ

(ক) আইসোটোপ (বর্ধমান 1963, ক. বি. বর্ধমান সিলেবাস 1967)

(খ) পরমাণু অংক (বর্ধমান 1964)

(গ) অর্ধায়ু (ক. বি. বর্ধমান সিলেবাস 1967)

(ঘ) গ্রুপের সরণ সূত্র (ক. বি.—বর্ধমান সিলেবাস—1967)

Write notes on

(a) Isotopes (B. U. 1963, C. U.—B. U. Syllabus 1967)

(b) Atomic number (B. U. 1964)

(c) Half life period (C. U.—B. U. Syllabus 1967)

(d) Group displacement law (C. U.—B. U. Syllabus 1967)

(সংকেত: (ক) 3.2e, (খ) 3.1f, (গ) 3.21 এবং (ঘ) 3.2f পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)

চতুর্থ অধ্যায়

পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন ও যোজ্যতা

(Electronic structure of atoms and Valency)

পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন (Electronic structure of atoms)

4.1a. ভুমিকা —এতক্ষণ পর্যন্ত পরমাণুর নিউক্লিয়াস সম্পর্কে বিশদ আলোচনা করা হয়েছে। কিন্তু পরমাণুর মধ্যে যে ইলেক্ট্রনসমূহ আছে তাদের সম্পর্কে বিশেষ কিছু বলা হয়নি। পরমাণুর মধ্যে ইলেক্ট্রনের সঠিক অবস্থান সম্পর্কে তথ্যানুসন্ধান সুরু করা যায় **পারমাণবিক বর্ণালী** (atomic spectra) থেকে। যখন কোন কঠিন পদার্থকে উত্তপ্ত করা যায় তখন সেই পদার্থ থেকে এক রকমের আলো নির্গত হয়। গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে তড়িৎ চালনার ফলেও অনেক সময়ে এই আলো পাওয়া যায়। এই আলোর ফোটোগ্রাফ গ্রহণ করলে দেখা যায় বর্ণালীতে কয়েকটি বিশেষ রেখা আছে। এই রেখা বিভিন্ন মৌলের ক্ষেত্রে বিভিন্ন। সুতরাং এই রেখাকে উপাদানের বৈশিষ্ট্য হিসেবে ধরা যেতে পারে। এই আলো সাধারণত পরমাণু থেকে নির্গত হয়, সেইজন্য এই বর্ণালীকে **পারমাণবিক বর্ণালী** বলে। বর্ণালীর মধ্যস্থিত বিশিষ্ট রেখাটি একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘবিশিষ্ট তরঙ্গের স্থান অধিকার করে। ঐ তরঙ্গদৈর্ঘ সেই নির্দিষ্ট মৌলের পরমাণুর জন্য নির্দিষ্ট। পরবর্তীকালে দেখা গেছে বর্ণালীর এক একটি রেখা প্রকৃতপক্ষে একাধিক রেখার একত্রিত অবস্থা।

4.1b. হাইড্রোজেন বর্ণালী (hydrogen spectrum)—হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালী বিশ্লেষণ করে তিনটি রেখাগুচ্ছ পাওয়া গেছে। এই রেখাগুচ্ছগুলিকে আবিষ্কর্তার নাম অনুসারে যথাক্রমে **বামার শ্রেণী** (Balmer series), **লাইম্যান শ্রেণী** (Lyman series) ও **প্যাশেন শ্রেণী** (Paschen series) নামে অভিহিত করা হয়। হাইড্রোজেনের বর্ণালীর দৃশ্য অংশে পাওয়া যায় বামার শ্রেণী, অতিবেগনীতে পাওয়া যায় লাইম্যান শ্রেণী আর অবলোহিত অংশে পাওয়া যায় প্যাশেন শ্রেণী।

রিৎস (Ritz, 1908) প্রথম দেখান যে এই সমস্ত শ্রেণীর কম্পনসংখ্যাকে দুটি রাশির পার্থক্য হিসেবে দেখানো চলে। কম্পনসংখ্যা ν পাওয়া যাবে আলোর গতিবেগকে তরঙ্গদৈর্ঘ দ্বারা ভাগ করে। $\nu = c/\lambda$, c = আলোর গতিবেগ $= 2.998 \times 10^{10}$ সে. মি/সেকেণ্ড এবং λ = তরঙ্গদৈর্ঘ। রিৎসের নীতি অনুসারে

$$\nu = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad \cdots \quad \cdots \quad (4.1)$$

R একটি ধ্রুবক সংখ্যা ; সাধারণত **রিডবার্গ ধ্রুবক** (Rydberg constant) নামে পরিচিত। হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে $R = 109{,}677.76$ সে.মি.$^{-1}$।

(4.1) সমীকরণে $n_1=2$ এবং $n_2=3,4,5,6$ ইত্যাদি বসালে পাওয়া যাবে বামার শ্রেণী, $n_1=1$ এবং $n_2=2,3,4,5$ ইত্যাদি বসালে পাওয়া যাবে ল্যাইম্যান শ্রেণী আর $n_1=3$ এবং $n_2=4,5,6$ ইত্যাদি বসালে পাওয়া যাবে প্যাশেন শ্রেণী।

4.1c. **কোয়াণ্টাম তত্ত্ব** (quantum theory)—প্ল্যাংক (Planck, 1900) তার কোয়াণ্টাম তত্ত্বে বলেন যে **শক্তি গ্রহণ বা বর্জন হয় এক একবারে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণের পূর্ণ গুণিতক হিসেবে।** এই নির্দিষ্ট পরিমাণকেই **কোয়াণ্টাম** বলে। যে কোনো আলোক রশ্মির ক্ষেত্রে এই শক্তি কোয়াণ্টামকে যদি E ধরা হয়, তাহলে

$$E=h\nu \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.2)$$

ν = আলোকরশ্মির কম্পনসংখ্যা এবং h = প্ল্যাংক ধ্রুবক $=6.62 4\times10^{-27}$ আর্গ সেকেণ্ড। সুতরাং বর্জিত বা গৃহীত আলোক শক্তির কম্পনসংখ্যা

$$\nu=E/h \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.3)$$

যদি কম্পনসংখ্যাকে প্রতি একক দৈর্ঘে কম্পন সংখ্যা ($\bar{\nu}$) হিসেবে ধরা হয় তাহলে

$$\bar{\nu}=v/c=E/hc \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.4)$$

$\bar{\nu}$কে **তরঙ্গ সংখ্যা** (wave number) বলা হয়।

3.1d. **বর তত্ত্ব** (Bohr's theory)—পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনসমূহের অবস্থান নির্ণয়ে বর (Bohr, 1913) প্ল্যাংকের কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্য নেন। বরের তত্ত্ব অনুসারে **পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে বিভিন্ন কক্ষপথে ভ্রমণ করে। এই কক্ষপথগুলি নির্দিষ্ট এবং প্রত্যেকটি কক্ষপথকে বলা হয় এক একটি স্থাণু কক্ষপথ** (stationary orbit)। **এই নির্দিষ্ট কক্ষপথ ভিন্ন অন্যত্র কোথাও ইলেকট্রন থাকতে পারে না। পরমাণুর শক্তি গ্রহণ বা বর্জনের ফলে ইলেকট্রন একটি কক্ষপথে থেকে অপর কক্ষপথে প্রবেশ করে, কিন্তু কখনই দুটি নির্দিষ্ট কক্ষপথের মধ্যে অবস্থান করতে পারে না। ফলে পরমাণুর শক্তি গ্রহণ বা বর্জন কোয়াণ্টামের পূর্ণ গুণিতক হয়।**

4.1e. **কোয়াণ্টাম সংখ্যা** (quantum numbers)—পরমাণু বর্ণালীতে যে রেখা পাওয়া যায় তার ব্যাখ্যা বর তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায়। পরমাণুমধ্যে অবস্থিত প্রতিটি ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে কক্ষপথ পরিবর্তনের জন্য একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি গৃহীত বা বর্জিত হবে। সেই শক্তি তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ আকারে হয় গৃহীত হবে নয় নির্গত হবে। এই শক্তিই পরমাণু বর্ণালীতে রেখা হিসেবে ধরা দেয়। যদি কোন ইলেকট্রনের প্রারম্ভিক শক্তি E_1 হয় এবং কক্ষপথ পরিবর্তনের ফলে

শক্তি হয় E_2 তাহলে বর্জিত বা গৃহীত শক্তির পরিমাণ $E_1 - E_2$. বর ও প্ল্যাংক তত্ত্ব অনুয়ারে

$$E_1 - E_2 = hc\bar{\nu} \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.5)$$

বা,
$$\bar{\nu} = \frac{E_1 - E_2}{hc} \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.6)$$

$$= \frac{E_1}{hc} - \frac{E_2}{hc} \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.7)$$

কোন একটি নির্দিষ্ট কক্ষপথের শক্তি যদি Rhc/n^2 ধরা হয় তাহলে

$$\bar{\nu} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad (4\ 8)$$

এই সমীকরণ রিৎস সমীকরণের অনুরূপ।

নির্দিষ্ট কক্ষপথের শক্তি $E = \frac{Rhc}{n^2}$ $\cdots$ $\cdots$ (4.9)

n-কে বলা হয় **প্রধান কোয়াণ্টাম সংখ্যা** (principal quantum number) l n-এর মান হবে পূর্ণসংখ্যা।

একটিমাত্র কোয়াণ্টাম সংখ্যা একটি ইলেকট্রনের অবস্থান সঠিকভাবে নির্দেশ করতে পারে না। এইজন্য আরও তিনটি কোয়াণ্টাম সংখ্যার অস্তিত্ব কল্পনা করা হয়। **দিগংশক কোয়াণ্টাম সংখ্যা** (azimuthal quantum number) l কৌণিক ভরবেগ নির্দেশক। l এর মান হবে 0 থেকে $(n-1)$ পর্যন্ত। অর্থাৎ $n=3$ হলে l হবে 0, 1, 2. কৌণিক ভরবেগের সম্ভাব্য ভেক্টর উপাদানগুলিকে সম্পূর্ণভাবে নির্দেশ করার জন্য **চৌম্বক কোয়াণ্টাম সংখ্যা** (magnetic quantum number), m, ধরা হয়। m-এর মান হবে $0, \pm 1, \pm 2, \cdots \pm l$, যখন দিগংশক কোয়াণ্টাম সংখ্যা l. m-এর মানের মোট সংখ্যা $(2l+1)$. ইলেকট্রনের স্পিন থাকায় **স্পিন কোয়াণ্টাম সংখ্যার** (spin quantum number) প্রয়োজন। স্পিন সাধারণত দুটি দিকের যে কোন একদিকে হবে। সেইজন্য স্পিন কোয়াণ্টাম সংখ্যা s-এর দুটি মাত্র মান সম্ভব $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$.

যে কোন ইলেকট্রনের ক্ষেত্রেই এই চারটি কোয়াণ্টাম সংখ্যার প্রয়োজন। **কিন্তু পরমাণুমধ্যে অবস্থিত একাধিক ইলেক্ট্রনের চারটি কোয়াণ্টাম সংখ্যা হুবহু এক হবে না।** এই নীতির উদ্ভাবক পাউলি (Pauli, 1925) এবং একে **পাউলির নির্বাচন নীতি** (Pauli's exclusion principle) বলা হয়। প্রধান কোয়াণ্টাম সংখ্যা একটি কোয়াণ্টাম গ্রুপের নির্দেশক। এক একটি কোয়াণ্টাম গ্রুপে মোট কতগুলি ইলেকট্রন থাকবে তা সহজেই পাউলির নীতি থেকে জানা যায়।

যখন $n=1$ তখন $l=0$, $m=0$ এবং $s=\pm\frac{1}{2}$. যেহেতু একাধিক ইলেকট্রনের চারটি কোয়াণ্টাম সংখ্যা হুবহু এক হতে পারে না, তাই প্রথম $(n=1)$ কোয়াণ্টাম

গ্রুপে কেবলমাত্র দুটি ইলেকট্রন থাকতে পারে। $n=2$ হলে $l=0, 1$; $m=0, \pm 1$; $s=\pm\frac{1}{2}$. সাজিয়ে লিখলে

n	2	2	2	2	2	2	2	2
l	0	0	1	1	1	1	1	1
m	0	0	0	0	1	1	−1	−1
s	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে দ্বিতীয় কোয়ান্টাম গ্রুপে মোট 8টি ইলেকট্রন থাকতে পারে। এমনি করে দেখা যায় তৃতীয় কোয়ান্টাম গ্রুপে 18, চতুর্থ কোয়ান্টাম গ্রুপে 32, পঞ্চম কোয়ান্টাম গ্রুপে 50টি পর্যন্ত ইলেকট্রন থাকতে পারে।

এক একটি কোয়ান্টাম গ্রুপকে একটি **শেল** (shell) বলে। $n=1, 2, 3, 4$ প্রভৃতি গ্রুপকে যথাক্রমে K, L, M, N শেল বলা হয়। শেলগুলির সর্বাধিক ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা $K=2$, $L=8$, $M=18$, $N=32$, $O=50$. আবার প্রতিটি শেলের অভ্যন্তরে উপশেল (subshell) আছে। এই উপশেলগুলিকে যথাক্রমে s, p, d, f লেখা হয়। যখন $l=0$ তখন $m=0$ এবং $s=\pm\frac{1}{2}$. এই দুটি ইলেকট্রন মাত্র s উপশেলে থাকতে পারে। যখন $l=1$ তখন $m=0, \pm 1$ এবং $s=\pm\frac{1}{2}$, মোট ছটি ইলেকট্রন। এই ছটি ইলেকট্রন p উপশেলের জন্য, যখন $l=2$ তখন মোট 10টি ইলেকট্রন হবে এবং তারা d উপশেল দখল করবে। f উপশেল ($l=3$) মোট 14টি ইলেকট্রন ধারণ করতে পারে।

4.1f. পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন বিন্যাস (arrangement of electrons inside an atom)—পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের মোট সংখ্যা নিউক্লিয়াসের মোট পরা তড়িৎ এককের সমান। এই সংখ্যা আবার পরমাণু ক্রমাংকের সমান। পরমাণুর মধ্যেকার ইলেকট্রনগুলি প্রথমে K শেলের s উপশেল অধিকার করবে। K শেলের সর্বাধিক ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা 2. সুতরাং K শেলে একটিমাত্র উপশেল থাকে। K শেল পূর্ণ হবার পর ইলেকট্রন L শেলে প্রবেশ করবে। প্রথমে L শেলের s উপশেল ভর্তি হবে। তারপর p উপশেল ভর্তি হবে। L শেলের ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা 8 হওয়ায় L শেলে কেবলমাত্র দুটি উপশেলই ($s=2$, $p=6$) থাকবে। M শেলে থাকবে s, p, d তিনটি এবং N শেলে থাকবে s, p, d, f চারটি উপশেল। সাধারণভাবে কোন শেলের s উপশেল প্রথম ভর্তি হয়। s ভর্তি হবার পর p, p ভর্তি হবার পর d এবং d ভর্তি হবার পর f ভর্তি হয়। কিন্তু d ও f উপশেলযুক্ত পরমাণুগুলিতে ইলেকট্রনসংখ্যা সাধারণত বেশী হওয়ায় কিছু কিছু ক্ষেত্রে ব্যতিক্রম দেখা যায়। **ট্রানজিশন মৌলসমূহের** (transitional elements) ক্ষেত্রে এই ব্যতিক্রম সর্বাধিক লক্ষিত হয়। কোন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস নির্দেশ করা হয় এইভাবে। প্রতিটি শেলের প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যাকে প্রথমে লেখা হয়। তারপরে লেখা হয় তার s উপশেলের ইলেকট্রনসংখ্যা—সাধারণত s এর সূচকের মত লেখা হয়। তারপর p এবং তার ইলেকট্রনসংখ্যা লেখা হয়। এরপরে একই ভাবে

d ও f উপশেল ও তার ইলেকট্রন সংখ্যা লেখা হয়। H এর ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^1$, He এর $1s^2$, Li এর $1s^2 2s^1$, Be এর $1s^2 2s^2$, B-এর $1s^2 2s^2 2p^1$ প্রভৃতি। নীচে কয়েকটি মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস বর্ণনা করা হল।

তালিকা। উপাদানের ইলেকট্রন বিন্যাস।

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস		পরমাণু ক্রমাংক বা মোট পরমাণু বহির্ভূত ইলেকট্রন সংখ্যা
H	$1s^1$		1
He	$1s^2$		2*
Li	$1s^2 2s^1$		3
Be	$1s^2 2s^2$		4
B	$1s^2 2s^2 2p^1$		5
C	$1s^2 2s^2 2p^2$		6
N	$1s^2 2s^2 2p^3$		7
O	$1s^2 2s^2 2p^4$		8
F	$1s^2 2s^2 2p^5$		9
Ne	$1s^2 2s^2 2p^6$		10*
Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$		11
Mg	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$		12
Al	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$		13
Si	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$		14
P	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$		15
S	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$		16
Cl	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$		17
A	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$		18*
K	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$		19
Ca	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$		20
Sc	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$		21
Ti	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$		22
V	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$	প্রথম	23
Cr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$	ট্রানজিশন	24
Mn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$		25
Fe	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$		26
Co	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$		27
Ni	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$		28
Cu	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^9 4s^2$		29
Zn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$		30
Ga	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^1$		31
Ge	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$		32
As	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^3$		33
Se	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$		34
Br	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^5$		35
Kr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$		36*

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস		পরমাণু ক্রমাংক
Rb	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^1$		37
Sr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^2$		38
Y	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^1 5s^2$	দ্বিতীয় ট্রানজিশন	39
Zr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^2 5s^2$		40
Nb	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^4 5s^1$		41
Mo	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^5 5s^1$		42
Tc	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^6 5s^1$		43
Ru	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^7 5s^1$		44
Rh	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^8 5s^1$		45
Pd	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^9 5s^1$		46
Ag	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^1$		47
Cd	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2$		48
In	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^1$		49
Sn	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$		50
Sb	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3s^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^3$		51
Te	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^4$		52
I	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^5$		53
Xe	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6$		54*

উপরের তালিকা থেকে কয়েকটি ঘটনা লক্ষ্য করা যায়। পরমাণু ক্রমাংক অর্থাৎ ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে দেখা যায়, প্রথম 1s উপকক্ষপথ পূর্ণ হয়। এই উপকক্ষপথে সর্বাধিক দুটি মাত্র ইলেকট্রন থাকতে পারে। তারপরে পূর্ণ হয় 2s ও 2p উপকক্ষপথ। 2s ও 2p অর্থাৎ L কক্ষপথের মোট উপকক্ষপথের সর্বাধিক ক্ষমতা 8টি ইলেকট্রন ধারণ করার। এর পর 3s ও 3p পূর্ণ হয়। 3 অর্থাৎ M কক্ষপথে s, p, d তিনটি উপকক্ষপথ আছে। কিন্তু দেখা যায় 3s ও 3p পূর্ণ হবার পরেই 4s পূর্ণ হতে থাকে। একই সঙ্গে 3d-ও আংশিক পূর্ণ হতে দেখা যায়। এই ব্যতিক্রমের জন্য এই মৌলিক পদার্থগুলির কতকগুলি বিশেষ ধর্ম লক্ষ্য করা যায়। এই মৌলগুলিকে **ট্রানজিশন মৌল** (transitional elements) বলে। প্রকৃতপক্ষে পূর্ববর্তী কক্ষপথের d উপকক্ষপথ পূর্ণ হবার আগেই যদি পরবর্তী কক্ষপথে ইলেকট্রন অবস্থান করে তাহলেই ট্রানজিশন মৌলের সৃষ্টি হয়। অপূর্ণ d-উপকক্ষপথ ট্রানজিশন মৌলের বৈশিষ্ট্য।

সাধারণত s ও p উপকক্ষপথই নিয়মিত পূর্ণ হয়। পরের d বা f এর ক্ষেত্রে ব্যতিক্রম হামেশা দেখা যায়। সাধারণভাবে s ও p উপকক্ষপথ পূর্ণ হলেই মৌলটি স্থায়িত্ব প্রাপ্ত হয়। K-কক্ষপথে কেবলমাত্র s উপকক্ষপথ থাকায় সর্বাধিক দুটি ইলেকট্রন এখানে থাকতে পারে। পরবর্তী উপকক্ষপথের আবির্ভাব না হওয়া পর্যন্ত বলা যায় $1s^2$ একটি সম্পৃক্ত বিন্যাস। এই সম্পৃক্তার জন্যই He স্থায়ী। L, M প্রভৃতি কক্ষপথে s ও p উপকক্ষপথ সম্পৃক্ত হলে পরমাণুর স্থায়িত্ব সর্বাধিক হবে। এই কারণে Ne, A, Kr, Xe প্রভৃতি মৌলিক গ্যাসীয় পদার্থগুলি

সবই স্থায়ী এবং এরা সাধারণত কোন যৌগিক পদার্থ উৎপন্ন করে না। He, Ne, A, Kr, Xe প্রভৃতিকে প্রকৃতপক্ষে **নিষ্ক্রিয় গ্যাস** (inert gases) বলা হয়।

পরবর্তীকালে দেখা গেছে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস সঠিকভাবে নিরূপণ করা সম্ভব নয়। সুতরাং বরতত্ত্ব পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস নির্দেশে যথেষ্ট নয়। পরবর্তী তত্ত্বগুলি আমাদের আলোচনার বাইরে রাখা হল।

যোজ্যতা (Valency)

4.2a. যোজ্যতা (valency)—এতক্ষণ পর্যন্ত আলোচনা করা হয়েছে পরমাণুর গঠনপ্রকৃতি নিয়ে। এখন অণুর গঠন নিয়ে আলোচনা করা যেতে পারে। সাধারণত যৌগিক পদার্থের এবং বহু মৌলিক পদার্থের অণুতে একটির বেশী পরমাণু থাকে। এই একাধিক পরমাণুর সংযুক্তি ঘটে, আর তার ফলেই অণু উৎপন্ন হয়। পরমাণুগুলির পারস্পরিক সংযোজন ক্ষমতাকেই **যোজ্যতা** (valency) বলা হয়। এই সংযোজনক্ষমতার পরিমাপ করা হত হাইড্রোজেনের পরমাণুসংখ্যা দ্বারা, যে পরমাণুসংখ্যা মৌলিক পদার্থের একটি পরমাণুর সাথে সংযুক্ত হয় বা কোনো হাইড্রোজেনযুক্ত যৌগিক পদার্থ থেকে মৌলিক পদার্থের একটি পরমাণুদ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। কিন্তু পরমাণুর গঠতপ্রকৃতি জানার পরে যোজ্যতার পরিমাপ সম্পর্কে এই ধারণার বিরাট পরিবর্তন ঘটেছে। পরমাণুর সংযোজনক্ষমতা যে পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠনের সঙ্গে আঙ্গাঙ্গীভাবে সংশ্লিষ্ট তা জানা গেছে। পরমাণুর গঠনের সাথে যোজ্যতার এই সম্পর্কই **যোজ্যতার ইলেকট্রনীয় তত্ত্বের** (electronic theory of valency) মূলকথা।

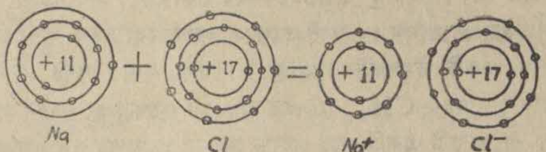
দেখা যায়, যে সমস্ত মৌলের পরমাণুগুলির নিউক্লিয়াস থেকে সবচেয়ে দূরের ইলেকট্রনীয় কক্ষপথগুলি সম্পৃক্ত তাদের যোজ্যতা 0. অর্থাৎ সেই সমস্ত মৌলের অপর কোনো মৌলের সাথে যুক্ত হবার ক্ষমতা নেই। এমনকি একই মৌলিক পদার্থের বিভিন্ন পরমাণুর মধ্যেও কোনরূপ সংযোজন ঘটে না। এই মৌলগুলি He, Ne, A, Kr, Xe এবং Rn. উপরের তালিকা থেকে লক্ষ্য করা যায় যে He ব্যতীত প্রতিটি মৌলের সবথেকে বাইরের কক্ষপথে 8টি ইলেকট্রন আছে (2 s-ইলেকট্রন+6 p-ইালকট্রন)। He এর একটিমাত্র কক্ষপথ থাকায় এবং সেই কক্ষপথের সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা 2 হওয়ায় সবথেকে বাইরের কক্ষপথে মাত্র দুটি ইলেকট্রন আছে। এই সমস্ত মৌলিক পদার্থের যোজ্যতা শূন্য হওয়ায় স্বভাবতই ধরে নিতে হয় যে যে পরমাণুর সবথেকে বাইরের কক্ষপথে 8টি ইলেকট্রন থাকবে (He ও He-এর কাছাকাছি পরমাণু ক্রমাংকবিশিষ্ট মৌলগুলির ক্ষেত্রে এই সংখ্যা হবে 2) সেই পরমাণু স্থায়ী হবে। কারণ অসম্পৃক্ততাই যোজ্যতার উৎপত্তির কারণ। কোন পরমাণু যদি অসম্পৃক্ত হয় তবে সেই পরমাণুর সম্পৃক্ত হবার ইচ্ছা

থেকেই অপর পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়। এই সংযুক্তির সময় যে কোনভাবেই হোক না কেন পরমাণু তার সবথেকে বাইরের কক্ষপথে 8টি ইলেকট্রনের একটি সজ্জা তৈরী করে। এই **ইলেকট্রন অষ্টক** (electron octet) গঠন করার পদ্ধতির উপরে পরমাণুর যোজ্যতা নির্ভর করে।

4.2b. **ইলেকট্রোযোজ্যতা বা তড়িৎযোজ্যতা** (electrovalency) — পরমাণুর সবথেকে বাইরের কক্ষপথে ইলেকট্রন অষ্টক গঠনের প্রথম পদ্ধতিতে যে যোজ্যতার প্রকাশ ঘটে তাকেই পরমাণুর **ইলেকট্রোযোজ্যতা** বা **তড়িৎযোজ্যতা** (electrovalency) বলে। এই পদ্ধতিতে যে পরমাণুদ্বয় পরস্পর সংযুক্ত হয় তাদের মধ্যে একটি ইলেকট্রন বর্জন করে আর অপরটি সেই ইলেকট্রন গ্রহণ করে। প্রথমটি সবথেকে বাইরের কক্ষপথের সবগুলি ইলেকট্রন বর্জন করে। ফলে সেই কক্ষপথের বিলুপ্তি ঘটে। তখন সেই কক্ষপথের আগের কক্ষপথটিই সবথেকে বাইরের কক্ষপথে পরিণত হয়। সেই কক্ষপথটি সাধারণত আগে থেকেই সম্পৃক্ত থাকে। দ্বিতীয় পরমাণুটি প্রথমটির বর্জন করা ইলেকট্রনগুলিকে গ্রহণ করে ইলেকট্রন অষ্টক সম্পূর্ণ করে। যদি প্রথমটি একটি ইলেকট্রন বর্জন করে তাহলে দ্বিতীয়টি সেই একটিমাত্র ইলেকট্রন গ্রহণ করবে। কিন্তু যদি দ্বিতীয়টির ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ করতে একাধিক ইলেকট্রনের প্রয়োজন হয় তাহলে যে কটি ইলেকট্রন প্রয়োজন ঠিক সেই কটি পরমাণুর বর্জন করা ইলেকট্রন গ্রহণ করবে। যেমন ধরা যাক সোডিয়াম একটি ইলেকট্রন বর্জন করে আর সালফারের অষ্টক সম্পূর্ণ করতে 2টি ইলেকট্রন প্রয়োজন হয়। তাহলে দুটি সোডিয়াম পরমাণুর বর্জন করা ইলেকট্রন একটি সালফার পরমাণু গ্রহণ করবে। কিন্তু Cl-এর অষ্টক সম্পূর্ণ করতে একটিমাত্র ইলেকট্রন প্রয়োজন। সুতরাং একটি ক্লোরিন পরমাণু একটি সোডিয়াম পরমাণুদ্বারা বর্জিত ইজেকট্রন গ্রহণ করবে। ইলেকট্রনের এই গ্রহণ বর্জনের ফলে সংশ্লিষ্ট পরমাণুগুলির মধ্যে একটি বন্ধন সৃষ্টি হবে। এই বন্ধনকে **ইলেকট্রোভ্যালেণ্ট** বা **তড়িৎযোজী বণ্ড** (electrovalent bond) বলা হয়।

সোডিয়াম পরমাণুর গঠনে দেখা যায়, প্রথম কক্ষপথে 2, দ্বিতীয়টিতে 8 এবং তৃতীয়টিতে একটি ইলেকট্রন আছে। ক্লোরিন পরমাণুতে আছে প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয় কক্ষপথে যথাক্রমে 2, 8 ও 7টি ইলেকট্রন। এখন যদি সোডিয়াম তার তৃতীয় কক্ষপথের ইলেকট্রনটি বর্জন করে তাহলে তৃতীয় কক্ষপথটির আর কোন অস্তিত্ব থাকবে না। তখন দ্বিতীয় কক্ষপথটিই সবথেকে বাইরের কক্ষপথ হবে এবং দেখা যাচ্ছে এই কক্ষপথে আগে থেকেই 8টি ইলেকট্রন আছে। সুতরাং এই অবস্থায় সোডিয়াম পরমাণু স্থায়িত্ব অর্জন করবে। ক্লোরিনের সবথেকে বাইরের কক্ষপথে 7টি ইলেকট্রন থাকায় সোডিয়ামের বর্জন করা ইলেকট্রনটি গ্রহণ করে 8-এ পরিণত হবে। এর ফলে ক্লোরিন পরমাণুরও স্থায়িত্ব অর্জিত হবে। সোডিয়ামের পরমাণু ক্রমাংক 11. সুতরাং নিউক্লিয়াসের প্রোটনসংখ্যা বা পরা চার্জসংখ্যা 11. কিন্তু একটি ইলেকট্রন বর্জন করায় ইলেকট্রন-সংখ্যা দাঁড়ালো 10. উৎপন্ন পরমাণুর মধ্যে 11টি

প্রোটন ও 10টি ইলেকট্রন থাকবে। স্বভাবতই এই পরমাণুটি পরা চার্জবাহী হবে। একইভাবে দেখানো যায় ক্লোরিনের উৎপন্ন পরমাণুটি হবে অপরা চার্জবাহী। এরকম চার্জবাহী পরমাণুকে **আয়ন** (ion) বলে। সুতরাং ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগিক পদার্থের দুটি অংশ থাকে—পরা আয়ন ও অপরা আয়ন। এক্ষেত্রে Na^+ পরা আয়ন আর Cl^- অপরা আয়ন। পরা ও অপরা আয়ন ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক বল দ্বারা পরস্পর আকৃষ্ট হয়ে পাশাপাশি থাকে। তার ফলেই যৌগিক পদার্থটি উৎপন্ন হয়। যদি সোডিয়াম ক্লোরাইডের সরল যৌগিক পদার্থের পরিবর্তে H_2SO_4



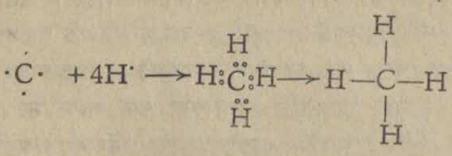
এর মত জটিল যৌগিক পদার্থ নেওয়া হয় তাহলেও দেখানো যায় যে এই পদার্থটি পরা ও অপরা দুই অংশে বিভক্ত।

$$H_2SO_4 = 2H^+ + SO_4^{-2}.$$

ইলেকট্রোযোজ্যতা সর্বাপেক্ষা বেশী প্রকট ক্ষার ও ক্ষারমৃত্তিকা মৌলসমূহে। এগুলি পর্যায় সারণীর I ও II নম্বর গ্রুপের ধাতু। Na, K প্রভৃতি ধাতুর একটি পরমাণুতে সব থেকে বাইরের কক্ষপথে একটি ইলেকট্রন আছে। Mg, Ca প্রভৃতি ধাতুর ক্ষেত্রে আছে দুটি ইলেকট্রন। Al-এ আছে তিনটি। সাধারণত দেখা যায় Na, K প্রভৃতি ধাতুর থেকে Al কম ইলেক্ট্রোযোজী। প্রকৃতপক্ষে একটি ইলেকট্রন ত্যাগ করা যত সহজ তিনটি ইলেকট্রন ত্যাগ করা তত সহজ নয়। তাই সবথেকে বাইরের কক্ষপথে যত বেশী ইলেকট্রন থাকবে ততই পরমাণুর ক্ষেত্রে সেই ইলেকট্রন ত্যাগের ক্ষমতা কমে যাবে। ইলেকট্রনসংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে ইলেকট্রন বর্জন ক্ষমতা কমে যাবে এবং ইলেকট্রন গ্রহণক্ষমতা বেড়ে যাবে। সেইজন্যই F, Cl, Br, I প্রভৃতি মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলি অতি সহজেই একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে। এদের প্রত্যেকের পরমাণুর সবথেকে বাইরের কক্ষপথে 7টি ইলেকট্রন আছে। যে সমস্ত মৌলের সবথেকে বাইরের কক্ষপথে 6টি ইলেকট্রন আছে তাদের ইলেকট্রনগ্রহণক্ষমতা F, Cl, Br, I অপেক্ষা কম। সুতরাং সেই মৌলগুলি F, Cl, Br, I অপেক্ষা কম ইলেক্ট্রোযোজী হবে।

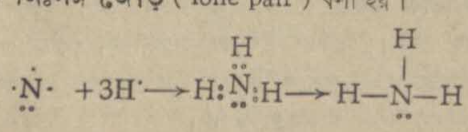
কোন মৌলের ইলেক্ট্রোযোজ্যতা হবে সেই মৌলের সবথেকে বাইরের কক্ষপথে যে কটি ইলেকট্রন আছে তাই অথবা যে কটি ইলেকট্রন গ্রহণ করলে বাইরের কক্ষপথে অষ্টক সম্পূর্ণ হয় তাই। একথা উপরের আলোচনা থেকে স্পষ্ট বোঝা যায়। সুতরাং ইলেক্ট্রোযোজ্যতা = সবথেকে বাইরের কক্ষপথের ইলেকট্রনসংখ্যা, অথবা 8 − সবথেকে বাইরের কক্ষপথের ইলেকট্রনসংখ্যা।

4.2c. সমযোজ্যতা বা কো-যোজ্যতা (covalency)—পরমাণুগুলির সব থেকে বাইরের কক্ষপথে খুব কম সংখ্যক বা খুব বেশী সংখ্যক ইলেকট্রন থাকলে ইলেকট্রন বর্জনগ্রহণ বেশ ভালোভাবে হতে পারে। কিন্তু যে সমস্ত মৌলিক পদার্থের সব থেকে বাইবের কক্ষপথে মাঝামাঝি সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে তাদের পক্ষে ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন দুইই কষ্টসাধ্য ব্যাপার। যেমন কার্বন—সব থেকে বাইরের কক্ষপথে ইলেকট্রন সংখ্যা 4 এর অষ্টক পূর্ণ করতে হলে 4টি ইলেকট্রন গ্রহণ করতে হবে অথবা 4ট ইলেকট্রন বর্জন করে দুটি ইলেকট্রনের (He এর মত) একটি সজ্জা তৈরী করতে হবে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এর কোনটিই কার্বনের পক্ষে সম্ভব নয়। অথচ অষ্টক পূর্ণ হওয়া প্রয়োজন। তাই এক্ষেত্রে অন্যভাবে অষ্টক পূর্ণ হয়। H এর বাইরের কক্ষপথে একটি ইলেকট্রন আছে। দেখা যায় একটি C-পরমাণু 4টি H-পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়—CH_4. C-এর বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা 4 এই 4টি ইলেকট্রনের প্রত্যেকটি একটি করে হাইড্রোজেনের পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়। সেই যুক্ত হবার সময় C-এর একটি ইলেকট্রন এবং H-এর একটি ইলেকট্রন সম্মিলিতভাবে দুটি ইলেকট্রনের একটি বন্ধন তৈরী করে। এই বন্ধনকে বলা হয় **সমযোজী বা কোভ্যালেন্ট বণ্ড** (covalent bond)। এই সম্মিলিত ইলেকট্রনদ্বয় তখন কার্বন ও হাইড্রোজেন উভয়ের সম্মিলিত অধিকারে আসে। ফলে C-এর একটি ইলেকট্রন হাইড্রোজেনের কাছ থেকে একটি করে ইলেকট্রন সংগ্রহ করে, আবার H-এর একটি ইলেকট্রন একটি করে C-ইলেকট্রন সংগ্রহ করে। ফলে C-এর অষ্টক পূর্ণ হয়, আর হাইড্রোজেনের বাইরের কক্ষপথে ইলেকট্রন সংখ্যা হয় 2 (He এর মত)।



এই ভাবে ইলেকট্রন ভাগাভাগির ফলে যে যৌগিক পদার্থ উৎপন্ন হয় তাকে বলা হয় সমযোজী বা কোভ্যালেন্ট যৌগিক পদার্থ। আর এই সময়ে যে যোজ্যতার প্রকাশ ঘটে তাকে **সমযোজ্যতা বা কো-যোজ্যতা** (covalency) বলে। ভাগাভাগি করা প্রতি দুটি করে ইলেকট্রন এক একটি **বণ্ড** তৈরী করে।

নাইট্রোজেনের বাইরের কক্ষপথে 5টি ইলেকট্রন আছে। অষ্টক সম্পূর্ণ করার জন্য আর 3টি ইলেকট্রনের প্রয়োজন। এইজন্য নাইট্রোজেনের তিনটি ইলেকট্রন অপর মৌলের পরমাণুর তিনটি ইলেকট্রনের সাথে মিলিত হয়ে তিনটি কো-ভ্যালেন্ট বণ্ড তৈরী করবে। বাকী দুটি ইলেকট্রন কারো সাথে মিলিত হবে না। এই দুটি ইলেকট্রনকে **নিঃসঙ্গ জোড়** (lone pair) বলা হয়।



বিশেষ অবস্থায় দুটি পরমাণুর মধ্যে সংযোগ একাধিক বণ্ড দ্বারা হতে পারে। যখন দুটি পরমাণু পরস্পর দুটি বণ্ড দ্বারা যুক্ত হয় তখন একটি দ্বিবন্ধ বা **ডবল বণ্ডের** (double bond) উৎপত্তি হয়। যখন দুটি পরমাণু পরস্পর তিনটি বণ্ড দ্বারা যুক্ত হয় তখন **ত্রিবন্ধ** বা **ট্রিপ্‌ল্ বণ্ডের** (triple bond) উৎপত্তি হয়। যেমন CO_2 ও C_2H_2 যৌগে,

$$:\!C\!: + 2\,\ddot{\underset{\circ\circ}{O}}\!: \rightarrow \underset{\circ\circ}{\ddot{O}}\!:\,:C\,::\!\ddot{\underset{\bullet\bullet}{O}} \rightarrow O=C=O$$

$$2.C\,\vdots + 2H^{\cdot} \rightarrow H\!:\; C\,\vdots\vdots\,C\!:\,H \rightarrow H-C\equiv C-H.$$

একই মৌলের একাধিক পরমাণু যখন একত্র সংযোজিত হয় তখন কো-যোজ্যতা দেখা যায়। $H^{\cdot} + H \rightarrow H : H \rightarrow H - H$

কো-যোজ্যতার ক্ষেত্রে অষ্টক নিয়মের কিছু ব্যতিক্রম লক্ষ্য করা যায়। SF_6, PCl_5, BCl_3 প্রভৃতি যৌগিক পদার্থে S, P ও B এর বাইরের কক্ষে যথাক্রমে 12, 10 ও 6টি ইলেকট্রন থাকে।

কোন পরমাণুর একটি কো-ভ্যালেন্ট যৌগ গঠনের সময়, যে কটি ইলেকট্রন অপর উপাদানের পরমাণুর সাথে মিলিত হয় তার কো-যোজ্যতা সেই ইলেকট্রন সংখ্যার সমান।

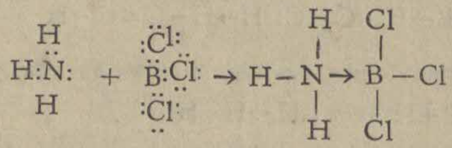
4.2d. **কো-অর্ডিনেট কো-যোজ্যতা** (coordinate covalency)—তৃতীয় ধরনের যোজ্যতা **কো-অর্ডিনেট কো-যোজ্যতা**। এই যোজ্যতা থাকতে হলে কোন পরমাণুর অন্ততপক্ষে একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় থাকতে হবে। অন্য কোন পরমাণু যখন এই যোজ্যতা দ্বারা নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়যুক্ত পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয় তখন সেই নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়টি দুটি পরমাণুর মধ্যে ভাগাভাগি হয়। প্রথমোক্ত পরমাণুর ইলেকট্রন ঘাটতি দ্বিতীয় পরমাণুর ইলেকট্রন আধিক্য দ্বারা পূরণ করা হয়। নিঃসঙ্গ জোড়টি যদিও দুটি যোজ্য পরমাণুর অধিকারে থাকে, তবু ইলেকট্রন জোড়টি সবসময়েই মূল পরমাণুটির সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যদি A ও B দুটি পরমাণু এমন হয় যে Aর একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় আছে, আর Bর আছে ইলেকট্রন ঘাটতি—তাহলে A ও Bএর মধ্যে সংযোগ ঘটবে নিম্নরূপ।

$$A\!: + B \longrightarrow A\!:\!B \longrightarrow \overset{\delta+}{A} \rightarrow \overset{\delta-}{B}$$

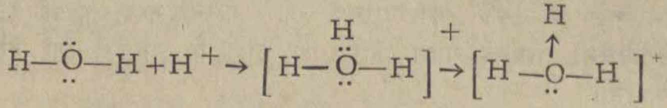
A ও Bএর মধ্যে একটি কোভ্যালেন্ট বণ্ড তৈরী হয়। কিন্তু এই বণ্ডের দুটি ইলেকট্রনই দান করে A। B এই ইলেকট্রনের কিছু অধিকার পাওয়ায় A-এর মোট অপরা চার্জে অতি সামান্য ঘাটতি হবে আর B-এর সামান্য আধিক্য ঘটবে। ফলে উৎপন্ন যৌগে Aর খুব সামান্য পরা চার্জ থাকবে (δ^+) এবং B-এর খুব সামান্য অপরা চার্জ থাকবে (δ^-)। সাধারণ কোভ্যালেন্ট বণ্ডের দুটি ইলেকট্রন আসে দুটি পরমাণু থেকে। সুতরাং কোঅর্ডিনেট বণ্ড আর কোভ্যালেন্ট বণ্ডের মধ্যে একটু

পার্থক্য আছে। এইজন্য কোঅর্ডিনেট বণ্ডকে একটি তীর দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। নিঃসঙ্গ-জোড়যুক্ত পরমাণু থেকে এই তীর ইলেকট্রন-ঘাটতিবিশিষ্ট পরমাণুর দিকে নির্দিষ্ট হয়।

NH_3 যৌগে Nএর একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় আছে, আর BCl_3 যৌগে Bএর বাইরের কক্ষপথে মোট 6টি ইলেকট্রন আছে। Bএর অষ্টক সম্পূর্ণ করতে আরও দুটি ইলেকট্রন প্রয়োজন। এই দুটি যৌগ একত্র সংযুক্ত হতে পারে।



H_2O যৌগে O-এর দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় আছে। একটি জোড়ের দ্বারা একটি প্রোটন যুক্ত হলে H_3O^+ তৈরী হবে।



কোঅর্ডিনেট কো-যোজ্যতার বহু উদাহরণ অজৈব রসায়নে ছড়িয়ে আছে। ভার্নার জটিল যৌগে (Werner complexes) এই যোজ্যতার প্রকাশ দেখা যায় সর্বাধিক।

4.2e. ইলেকট্রোভ্যালেন্ট ও কোভ্যালেন্ট যৌগসমূহের ধর্ম—ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগে দেখা যায় দুটি অংশ থাকে—পরা ও অপরা, দুটিই চার্জবাহী অংশ। কিন্তু কোভ্যালেন্ট যৌগে এরকম চার্জবাহী কোন অংশ নেই। ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগের পরা ও অপরা অংশ তড়িৎ ক্ষেত্রের অপরা ও পরা মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয়। এই কারণে **ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগসমূহ তড়িতের উত্তম পরিবাহী।** ক্যোভ্যালেন্ট যৌগসমূহ তড়িৎপরিবাহী হয় না।

ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগসমূহের কেলাসে আয়নগুলি একটি নির্দিষ্ট ধারায় সাজান থাকে। ফলে এই সমস্ত যৌগের অবস্থা পরিবর্তনের জন্য অপেক্ষাকৃত বেশী শক্তির প্রয়োজন হয়। এইজন্য **ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগসমূহ উচ্চ তাপমাত্রায় তরল ও বাষ্পে পরিণত হয়।** কিন্তু কোভ্যালেন্ট যৌগে ঐ ধরণের কোন বণ্ড না থাকায়, অপেক্ষাকৃত কম তাপমাত্রায় তরলীভূত ও বাষ্পীভূত হয়।

ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যৌগসমূহ সাধারণত পোলার (polar) দ্রাবকে দ্রবণীয়। **পোলার যৌগ** বলতে সেইসব যৌগ বোঝায় যে সমস্ত যৌগে (কোভ্যালেন্ট বা ইলেকট্রোভ্যালেন্ট যাই হোক না কেন) ডাইপোল মোমেন্ট আছে। অর্থাৎ আণবিক ইলেকট্রনীয় বিন্যাস এমন হয় যাতে অণুর দুই প্রান্তে দুটি মেরু বা পোল সৃষ্টি হয়।

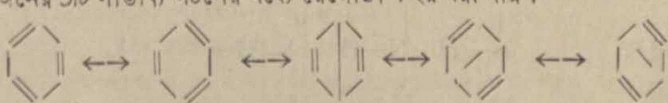
পোলার দ্রাবকের উদাহরণ জল, অ্যালকোহল প্রভৃতি। যে সমস্ত যৌগে ডাইপোল মোমেণ্ট শূন্য হয় সেই সমস্ত যৌগপদার্থকে **আপোলার** (nonpolar) যৌগ বলা হয়। কোভ্যালেণ্ট যৌগিক পদার্থসমূহ সাধারণত CS_2, CCl_4 প্রভৃতি আপোলার দ্রাবকে বেশী দ্রাব্য।

দেখা গেছে বিশুদ্ধ ইলেকট্রোভ্যালেণ্ট ও বিশুদ্ধ কোভ্যালেণ্ট যৌগের সংখ্যা খুব বেশী নয়। অধিকাংশ যৌগিক পদার্থ আংশিক ইলেকট্রোভ্যালেণ্ট এবং আংশিক কোভ্যালেণ্ট। যেটি বেশী হবে যৌগের ধর্মগুলি সেইমত হবে। তাই অনেকগুলি যৌগে কোভ্যালেণ্ট চরিত্র বেশী হওয়ায় তার ইলেকট্রোভ্যালেণ্ট চরিত্র ঢাকা পড়ে যায়, যেমন CCl_4. আবার যে সমস্ত যৌগে ইলেকট্রোভ্যালেণ্ট চরিত্র বেশী সেখানে কোভ্যালেণ্ট চরিত্র ঢাকা পড়ে যায়, যেমন NaCl.

4.3. **রেজোন্যান্স** (resonance)—অনেক সময় দেখা যায় একই যৌগিক পদার্থের গঠন বিভিন্ন ইলেকট্রনীয় সজ্জায় প্রকাশ করা যায়। যেমন N_2O কে সাম্ভাব্য দুটি উপায়ে প্রকাশ করা সম্ভব। $:\ddot{N}.\vdots N: :\ddot{\underset{..}{O}}$ [বা $:\ddot{N}\leftarrow N=\ddot{\underset{..}{O}}$] এবং $:N\vdots\ \vdots N: \underset{..}{\ddot{O}}\colon$ [বা $:N\equiv N\rightarrow \underset{..}{\ddot{O}}\colon$]। বস্তুতপক্ষে N_2O এর ধর্মে দেখা যায় যে ধর্মগুলি কোন একটি গঠনের উপর নির্ভর করে না, দুটির উপরেই নির্ভর করে। অর্থাৎ দুটি গঠনই যৌগটির ধর্মে কিছু কিছু অবদান রাখে।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে একটি মাত্র ইলেকট্রনীয় গঠন পদার্থটির ধর্মগুলির সম্পূর্ণ ব্যাখ্যা করতে পারে না, একাধিক ইলেকট্রনীয় গঠন একত্রে এই ধর্মগুলির ব্যাখ্যাদানে সম্ভব। ধর্মগুলিকে এই একাধিক ইলেকট্রনীয় গঠনের গড় হিসেবে ধরা যায়, কিন্তু কোন সময়েই পদার্থটি কোন একটি গঠনকে অবলম্বন করে না। পদার্থটির স্থায়িত্ব যে কোন একটি গঠনের স্থায়িত্ব অপেক্ষা বেশী হবে। এই ঘটনাকে **রেজোন্যান্স** (resonance) বলে। প্রতিটি গঠনকে বলা হয় **রেজোনেটিং গঠন** (resonating structure)।

বেনজিনের গঠন রেজোন্যান্সের একটি সুন্দর উদাহরণ। বেনজিনের অণুতে তিনটি ডবল বণ্ড থাকায় এই যৌগিক পদার্থটির খুবই অস্থায়ী হওয়া উচিত ছিল। কিন্তু বেনজিনের স্থায়িত্ব অসাধারণভাবে বেশী। বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ প্রমাণের ভিত্তিতে বেনজিনের 5টি সাম্ভাব্য গঠনের মধ্যে রেজোন্যান্স হয় ধরা যায়।



অজৈব ও জৈব রসায়নে রেজোন্যান্সের অসংখ্য উদাহরণ ছড়িয়ে আছে। CO_2 অণুর রেজোন্যান্স নিম্নরূপ।

$\underset{..}{\ddot{O}}\colon :C: :\underset{..}{\ddot{O}}$ $\qquad$ $:O: : :C\ :\underset{..}{\ddot{O}}\colon$ $\qquad$ $:\underset{..}{\ddot{O}}\colon C: : :O:$

বা $\ddot{\underset{..}{O}}=C=\ddot{\underset{..}{O}}$ বা $:O\equiv C-\ddot{\underset{..}{O}}:$ বা $:\ddot{\underset{..}{O}}-C\equiv O:$

CS_2 অণুর রেজোন্যান্স এইরূপ।

$:S::C:\ddot{\underset{..}{S}}:$ এবং $:\ddot{\underset{..}{S}}:C::S:$ আরও বহু উদাহরণ উল্লেখ করা সম্ভব।

4.4. হাইড্রোজেন বণ্ড (hydrogen bond)—H-ঘটিত বহু যৌগে কিছু কিছু অসাধারণ ধর্ম দেখা যায়। এর মধ্যে এই সমস্ত যৌগের স্থায়িত্ব বৃদ্ধি, স্ফুটনাংক ও গলনাংক বৃদ্ধি প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য। H যত বেশী ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌলের সঙ্গে সংযুক্ত হয় ততই এই বিশেষ ধর্মগুলো প্রকট হয়। O, S, Se, Te পর্যায় সারণীর একই গ্রুপভুক্ত হওয়ায় পরস্পরের মধ্যে ধর্মে সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়। সুতরাং আশা করা যায় H_2O, H_2S, H_2Se, H_2Te প্রভৃতি যৌগিক পদার্থগুলির মধ্যেও ধর্মে অল্পবিস্তর সাদৃশ্য থাকবে। কিন্তু H_2O তরল, অপরগুলি গ্যাসীয়। অক্সিজেন S, Se, Te, অপেক্ষা বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ। আবার হ্যালোজেন পরিবারের ক্ষেত্রেও একই ঘটনা লক্ষ্য করা যায়। F সর্বাপেক্ষা বেশী ইলেকট্রোনেগেটিভ হওয়ায় কেবলমাত্র HF এর ক্ষেত্রে কিছু বিশেষ ধর্ম পরিলক্ষিত হয়। HCl, HBr, HI প্রভৃতির ক্ষেত্রে এই ধর্ম লক্ষ্য করা যায় না।

জৈব রসায়নে বহু যৌগিক পদার্থ পাওয়া যায় যাতে এরূপ বিশেষ ধর্ম পরিলক্ষিত হয়। উদাহরণস্বরূপ অ্যালকোহল শ্রেণীর নামোল্লেখ করা যায়। লক্ষ্যণীয় যে অ্যালকোহলে O ও H উভয়েই আছে।

উপরোক্ত ঘটনা সমূহের ব্যাখ্যাসন্ধানে রত বৈজ্ঞানিকগণ H-বণ্ডের কথা ঘোষণা করেন। H-এর একটিমাত্র ইলেকট্রন আছে। সেই ইলেকট্রন বর্জিত হলে পাওয়া যায় H^+. এই H^+ ইলেকট্রোনেগেটিভ আয়নগুলির মধ্যস্থলে থেকে ইলেকট্রোস্ট্যাটিক আকর্ষণ হেতু উভয়পার্শ্বে দুটি আয়নকে কাছাকাছি ধরে রাখতে সক্ষম হয়। ফলে একটি সেতু উৎপন্ন হয়। এই সেতুকেই H-**সেতু** বা H-**বণ্ড** বলা হয়।

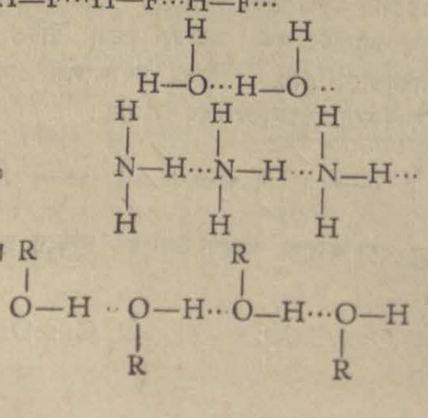
হাইড্রোজেন সেতুর উদাহরণ—

HF H—F···H—F···H—F···

H_2O

তরল NH_3

অ্যালকোহল ROH



প্রভৃতি

হাইড্রোজেন সেতুর ব্যাখ্যা ধরলে প্রতিটি সেতু হবে এরকম।

$$HF = H^{+} + F^{-}$$

$$\overset{-}{F}\overset{+}{H}\ \overset{-}{F}\overset{+}{H}\ \overset{-}{F}\overset{+}{H}\ \overset{-}{F}\overset{+}{H}\ \overset{-}{F}\overset{+}{H}\ \overset{-}{F}\overset{+}{H}$$

লক্ষ্য করা যেতে পারে যে H-বণ্ডের দরুণ অণুগুলির ভর বৃদ্ধি পায়। ফলে এদের গলনাংক বা স্ফুটনাংক বৃদ্ধি পায়। অনেকগুলি আয়ন একত্র গ্রথিত হওয়ায় স্থায়িত্ব বৃদ্ধি পায় বহুগুণ। প্রকৃতপক্ষে যে সমস্ত যৌগে H এবং O, F বা কোন অত্যধিক পরিমাণে ইলেকট্রোনেগেটিভ পরমাণু থাকে সেখানেই H-বণ্ড দেখা দেয় এবং এই বিশেষ ধর্ম্মগুলির উৎপত্তি হয়।

প্রশ্নাবলী

1. পারমাণবিক বর্ণালী কাকে বলে? হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালী বিশ্লেষণে কি ফল পাওয়া যায়? এই ফল কি পরমাণুর গঠন নির্ণয়ে সাহায্য করে?
What is 'atomic spectrum'? What results are obtained by the analysis of the spectrum of H-atom? Do these results render any basis for the elucidation of atomic strouctuer?
[সংকেত : 4.1a থেকে 4.1e পরিচ্ছেদ পর্যন্ত দেখ।]

2. বর-তত্ত্ব বর্ণনা কর। বরতত্ত্ব দ্বারা হাইড্রোজেন বর্ণালী ব্যাখ্যা কর।
Describe Bohr's theory and hence explain the hydrogen spectrum.
[সংকেত : 4.1d পরিচ্ছেদ সম্পূর্ণ এবং 4.1e পরিচ্ছেদের 4.8 সমীকরণ পর্যন্ত দেখ।]

3. ইলেকট্রনের মোট কোয়ান্টাম সংখ্যা কটি? পাউলির নির্বাচন নীতি কি? এই নীতি প্রয়োগ করে বিভিন্ন কক্ষে মোট ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ণয় কর।]
How many quantum numbers does an electron possess? What is meant by 'Pauli's exclusion principle'? Apply this principle to obtain the total number of electrons which can be accomodated in different orbits.
[সংকেত : 4.1e পরিচ্ছেদ দেখ।]

4. কোন মৌলের যোজ্যতা বলতে কি বোঝ? যোজ্যতার আধুনিক সংজ্ঞা কি?
What do you understand by the term 'valency' of an element? What is the modern definition of valency?
[সংকেত : 4.2a থেকে 4.2d পরিচ্ছেদ দেখ।]

5. ইলেকট্রোযোজ্যতা কাকে বলে? ইলেকট্রোযোজী যৌগের ধর্ম কি কি? Na, Mg, Al, S, Br প্রভৃতি উপাদানগুলির ইলেকট্রোযোজ্যতা কত?
What is electrovalency? What are the preperties of the electrovalent compounds? What are the magnitudes of electrovalency of the elements Na, Mg, Al, S and Br?
[সংকেত : 4.2b এবং 4.2c পরিচ্ছেদ দেখ। 1,2,3,2,1,]

6. কোযোজ্যতা ও কো-অর্ডিনেট যোজ্যতা কাকে বলে ? এই দুইশ্রেণীর যোজ্যতার মধ্যে পার্থক্য কি ? কোযোজী যৌগের ধর্ম বর্ণনা কর। ইলেকট্রোযোজী যৌগের সাথে কোযোজী যৌগের ধর্মগত ও গঠনগত পার্থক্য কি কি ?
What are covalency and co-ordinate valency ? What is the difference between these two types of valency ? Describe the properties of covalent compounds. What are the differences between electrovalent and covalent compounds in relation to properties and structure ?
[সংকেত : 4.2c, 4.2d এবং 4.2e পরিচ্ছেদ দেখ।]

7. পোলার যৌগ কাকে বলে ?
What is a polar compound ?
[সংকেত : 4.2e পরিচ্ছেদ দেখ।]

8. উদাহরণসহ রেজোন্যান্স সম্পর্কে যা জান লেখ।
Write what you know about resonance. Give illustrations.
[সংকেত : 4.3 পরিচ্ছেদ দেখ।]

9. হাইড্রোজেন বণ্ড বলতে কি বোঝায় ? হাইড্রোজেনের যোজ্যতা কত ? এই যোজ্যতা দ্বারা হাইড্রোজেন বণ্ডকে ব্যাখ্যা করা যায় কি ? হাইড্রোজেন বণ্ড কোন কোন ক্ষেত্রে হয় ? হাইড্রোজেন বণ্ড গঠিত হলে যৌগের কোন বিশেষ ধর্ম দেখা যায় কি ?
What is meant by hydrogen bond ? What is the valency of hydrogen ? Can you explain the formation of hydrogen bond with this valency ? In what cases are hydrogen bonds found ? Does the compound with a hydrogen bond possess special properties ?
[সংকেত : 4. পরিচ্ছেদ দেখ।]

10. টীকা লেখ—ইলেকট্রোযোজ্যতা। (ক. বি. 1962, 1964, বর্ধমান 1964)
Write short notes on—electrovalency and covalency.
(C. U. 1962, 1964, B. U. 1964)
[সংকেত : 4.2b ও 4.2e পরিচ্ছেদ দেখ।]

11. পরমাণুর গঠনের উপর একটি নিবন্ধ লেখ। (ক. বি. 1963)
Write an essay on atomic structure of elements. (C. U. 1963)
[সংকেত : সংক্ষেপে সবগুলি বিষয় আলোচনা কর।]

12. কোন মৌলের যোজ্যতা বলতে কি বোঝ ? যোজ্যতার ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব আলোচনা কর।
(ক. বি. 1965)
What do you understand by valency of an element ? Discuss the electronic theory of valency.
(C. U. 1965)
[সংকেত : 4.2a থেকে 4.2d পরিচ্ছেদ দেখ।]

পঞ্চম অধ্যায়

নিষ্ক্রিয় গ্যাস

(Inert gases)

5.1. ভূমিকা :—বায়ুমণ্ডলের প্রধান উপাদান নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জলীয় বাষ্প। এছাড়া আরও কয়েকটি অপ্রধান গ্যাসীয় উপাদান আছে। এই গ্যাসীয় উপাদানগুলি হচ্ছে হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন, ক্রিপ্‌টন ও জেনন। বাতাসে এই গ্যাসগুলির পরিমাণ অত্যন্ত কম এবং এরা রাসায়নিক বিক্রিয়ায় নিষ্ক্রিয় থাকে। তাই এদের নিষ্ক্রিয় গ্যাস (Inert gases) বা বিরল (rare) গ্যাস বলে। রাসায়নিক নিষ্ক্রিয়তা ও দুষ্প্রাপ্যতার জন্য এদের সম্ভ্রান্ত (Noble) গ্যাসও বলা হয়। বায়ুমণ্ডলের সমগ্র আয়তনকে একশ ধরলে শতকরা নিম্নলিখিত ভাগে বায়ুমণ্ডলে এদের পাওয়া যায়।

হিলিয়াম	0.00052	ক্রিপটন	0.0001
নিয়ন	0.0015	জেনন	0.000009
আর্গন	0.9323		

এছাড়া আরও একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস আছে; তার নাম র‍্যাডন। তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিয়োজন শৃংখলের বিশেষ স্তরে এর সৃষ্টি হয়।

নিষ্ক্রিয় গ্যাসের প্রধান ভৌত ধর্মগুলি নিচে দেওয়া হল :

	He	Ne	A	Kr	Xe	Rn
1. পরমাণুক্রমাংক	2	10	18	36	54	86
2. বহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রনীয় বিন্যাস ns^2np^6	$1s^2$	$2s^22p^6$	$3s^23p^6$	$4s^24p^6$	$5s^25p^6$	$6s^26p^6$
3. আয়নন বিভব (ev)	24·5	21·5	15·7	13·9	12·1	10·7
4. স্ফুটনাংক °K	4·2	27	87	121	164	211
5. গলনাংক °K	1	24	84	116	161	202
6. সন্ধি তাপমাত্রা °K (Critical temp.)	3·1	44	51	211	290	378
7. জলে 20°C তাপাংকে বিশোষণ-অংক (Absorption co-efficient in H_2O at 20°C)	0·0097	0·014	0·05	0·11	0·24	0·51

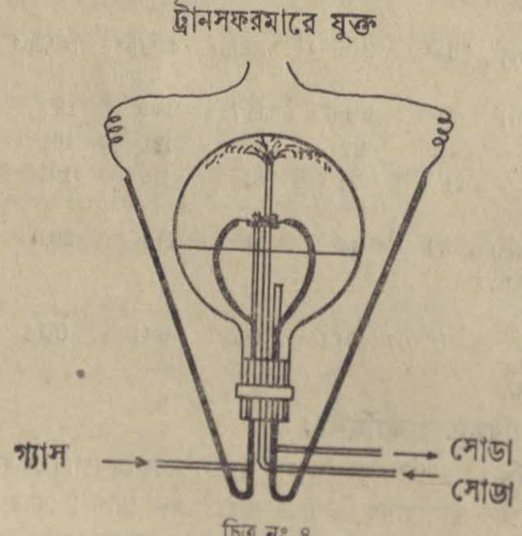
5.2a. আবিষ্কারের কাহিনী :

(ক) **আর্গন :** 1892 খৃষ্টাব্দে লর্ড র‍্যালে প্রথম দেখলেন যে বাতাসের থেকে পাওয়া নাইট্রোজেন রাসায়নিক উপায়ে নাইট্রোজেন যৌগ [যেমন অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট, ইউরিয়া বা নাইট্রোজেনের অক্সাইড] থেকে প্রস্তুত নাইট্রোজেনের থেকে শতকরা 0.5 ভাগ বেশী ভারী। বাতাসের থেকে নাইট্রোজেন সংগৃহীত হয়েছিল

বাতাসের নাইট্রোজেন-অক্সিজেনের মিশ্রণ থেকে অক্সিজেন দূর করে। বায়ু থেকে সংগৃহীত নাইট্রোজেন এবং রাসায়নিক উপায়ে প্রস্তুত নাইট্রোজেনের ঘনত্ব যথাক্রমে 1.2572 ও 1.2505. ঘনত্বের এই পার্থক্য এত বেশী যে একে পরীক্ষাগত সামান্য ত্রুটি (experimental error) বলে উপেক্ষা করা যায় না। এ প্রসঙ্গে স্যার উইলিয়াম র‍্যামজেকে জানানো হলে তিনি এই পার্থক্য বাতাসে অনাবিষ্কৃত অপেক্ষাকৃত ভারী কোনো গ্যাসের অস্তিত্বের জন্য বলে মন্তব্য করলেন। এর পর র‍্যামজে ও র‍্যালে উভয়েই এগিয়ে এলেন এই পার্থক্যের কারণ নির্ণয়ে।

1785 খৃষ্টাব্দে ক্যাভেণ্ডিশ সব বাতাসের নাইট্রোজেন একই প্রকারের কিনা তা নির্ণয়ের জন্য একটি পরীক্ষা করেন। এই পরীক্ষায় বাতাস এবং অতিরিক্ত অক্সিজেন মিশ্রণের মধ্যে তীব্র বৈদ্যুতিক আর্ক (electrical arc) চালিত করে নাইট্রোজেনের যে অক্সাইড পাওয়া গেল তাকে কস্টিক পটাশের দ্রবণে শোষিত করা হল, এবং অবশিষ্ট অক্সিজেনকে পটাশিয়াম পলিসালফাইডের দ্রবণে শোষিত করা হলে দেখা গেল 1/120 ভাগ গ্যাস শোষিত না হয়ে অবশিষ্ট রয়ে গেছে। র‍্যালের পর্যবেক্ষরের আগে কেউ ক্যাভেণ্ডিশের এই পরীক্ষার গুরুত্ব দেননি। ক্যাভেণ্ডিশের পরীক্ষার পুনরনুষ্ঠান করে তার সত্যতা প্রমাণ করার পর দেখা গেল অশোষিত অবশেষের বর্ণালী নাইট্রোজেনের থেকে সম্পূর্ণ পৃথক। বিশদভাবে এর সম্বন্ধে পরীক্ষা চালাবার উদ্দেশ্যে এবং বেশ কিছু পরিমাণে "অবশিষ্ট গ্যাসটি" সংগ্রহের উদ্দেশ্যে নিম্নলিখিত দুটি উপায়ের আশ্রয় নেওয়া হল।

(1) ক্যাভেণ্ডিশের মূল স্পার্কিং (sparking) প্রথার অনুসরণ করে লর্ড



চিত্র নং ৪

র‍্যালে 50 লিটার আয়তনের এক বিরাট কাচের গোলকের মধ্যে প্রথমে কিছু কস্টিক

সোডার দ্রবণ নিলেন। এর পর এই কাঁচের গোলকের মধ্যেই 9 : 11 এই আয়তনিক অনুপাতে বায়ু ও অক্সিজেনের এক গ্যাসীয় মিশ্রণ কস্টিক সোডার দ্রবণের ওপর সংগ্রহ করা হল। এখন দুটি প্ল্যাটিনাম ইলেকট্রোডের সাহায্যে তার মধ্য দিয়ে বিদ্যুত স্ফুলিঙ্গ পাঠানো হল। অতিরিক্ত অক্সিজেনকে ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেটের দ্বারা শোষণ করে নেবার পর অবশিষ্ট গ্যাস সংগ্রহ করা হল।

এই পদ্ধতির অন্তর্গত রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি হল :

$$N_2+O_2=2NO \; ; \; 2NO+O_2=2NO_2$$

$$2NaOH+2NO_2=NaNO_2+NaNO_3+H_2O$$

(2) **র‍্যামজের লাল-তপ্ত ম্যাগনেশিয়ামের সাহায্যে নাইট্রোজেন শোষণ পদ্ধতি :** র‍্যামজের অভিমত অনুসারে বাতাসের অক্সিজেন তপ্ত কপারের তার দ্বারা শোষণ করিয়ে প্রথমে দূর করা হল। তারপর নাইট্রোজেনকে বারবার চালিত করা হল লাল তপ্ত ম্যাগনেশিয়ামের উপর দিয়ে। এর ফলে ধীরে ধীরে নাইট্রোজেন ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রাইড রূপে শোষিত হল। এবং শেষ পর্যন্ত মূল আয়তনের 1/80 ভাগ পরিমাণ গ্যাস বাকী রয়ে গেল। হাইড্রোজেনের ঘনত্বকে 1 ধরলে এর ঘনত্ব হয় 19·94 এবং দেখা গেল এর বর্ণালী নাইট্রোজেন বা জানা অন্য যে কোনো গ্যাসের বর্ণালী থেকে পৃথক। এইভাবে 1894 খৃষ্টাব্দে র‍্যালে ও র‍্যামজে আবিষ্কার করলেন এক নতুন মৌল—যার একটি স্বতন্ত্র ও বিশিষ্ট বর্ণালী রয়েছে।

দেখা গেল এই নতুন গ্যাসের উপর উত্তপ্ত ধাতু, কপার অক্সাইড, পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, সোডিয়াম পারক্সাইড, ফসফোরাস প্রভৃতির কোনই প্রভাব নেই। হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, ফ্লোরিন, এমনকি ক্লোরিনের সাথেও বিদ্যুত স্ফুলিঙ্গের প্রভাবেও এর কোনো বিক্রিয়া ঘটে না। তাই রাসায়নিক নিষ্ক্রিয়তার জন্য র‍্যামজে এই গ্যাসের নাম দিলেন **আর্গন,** কারণ গ্রীক ভাষায় আর্গন-এর অর্থ হল অলস বা নিষ্ক্রিয়।

5.2b. **হিলিয়ামের আবিষ্কার :** হিলিয়ামের অস্তিত্ব প্রথম ধরা পড়েছিল 1868 খৃষ্টাব্দের 18-ই আগষ্ট সূর্যের পূর্ণগ্রহণের সময়। সূর্য আপন চক্রসীমা ছাড়িয়ে বহুলক্ষ ক্রোশ দূর পর্যন্ত জলদবাষ্পের অতিসূক্ষ্ম উত্তরীয় উড়িয়ে থাকে। গ্রহণের সময় তার চারদিকের আগ্নেয় গ্যাসের বিস্তার দেখতে পাওয়া যায় টেলিস্কোপে। দূরবিক্ষিপ্ত গ্যাসের এই দীপ্তিকে ইংরেজীতে বলে করোনা, বাংলায় একে বলা যেতে পারে কিরীটিকা।

সূর্যের পূর্ণগ্রহণের সুযোগে এই কিরীটিকা পরীক্ষা করবার সময় জ্যানসেন দেখলেন সূর্যের গ্যাসীয় বেড়ার ভিতর থেকে পাওয়া বর্ণলিপির (spectrum) নীল সীমানার দিক ঘেঁষে একটি উজ্জ্বল হলুদ রেখা। এর তরঙ্গদৈর্ঘ সোডিয়ামের হলদে D-রেখার সাথে এক নয়, কিন্তু এর খুব কাছাকাছি। এর নাম দেওয়া হল D_3 রেখা। ফ্র্যাংকল্যাণ্ড ও লকইয়ার এর থেকে সিদ্ধান্তে পৌছলেন এটা সূর্যের অন্তঃস্থ

একটা নতুন মৌলিক পদার্থ। এই নতুন খবর পাওয়া মৌলের নাম দেওয়া হল হিলিয়াম [বা সৌরক], কেননা গ্রীক ভাষায় হিলিয়স্ মানে সূর্য; আর এটা একান্ত সূর্যের অন্তর্গত গ্যাস। অবশ্য 1889 খৃষ্টাব্দে হিলব্র্যাণ্ড ক্লিভাইট নামে এক ইউরেনাইট খনিজকে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দিয়ে বায়ুশূন্য পাত্রে উত্তপ্ত করে 20 শতাংশ নাইট্রোজেন সমন্বিত একটা গ্যাস পান। কিন্তু এটা যে পুরোপুরি নাইট্রোজেন নয়, তা' তিনি প্রমাণ করতে পারেন নি। অবশেষে 1895 খৃষ্টাব্দে র‍্যামজে ক্লিভাইট থেকে পাওয়া গ্যাসের সঙ্গে অতিরিক্ত অক্সিজেন মিশিয়ে বিদ্যুত স্ফুলিঙ্গের সাহায্যে তাকে নাইট্রোজেনের অক্সাইডে পরিণত করলেন। এই নাইট্রোজেনের অক্সাইডকে পটাশিয়াম পলিসালফাইডে শোষণ করিয়ে তিনি অবশিষ্ট যে গ্যাস পেলেন তার বর্ণলিপি পরীক্ষায় দেখা গেল এরও আছে সেই বিশেষ D_3 রেখা; আর এটাই লকইয়ারের বর্ণিত সেই হিলিয়াম। র‍্যামজে অনুমান করলেন হিলিয়াম এবং আর্গন পর্যায়-সারণীতে শূন্য-গ্রুপ নামে এক নতুন সৃষ্ট গ্রুপের অন্তর্গত হবে ও এই গ্রুপটি সম্পূর্ণ হতে গেলে আরও তিনটি নতুন গ্যাসের অস্তিত্ব থাকা প্রয়োজন। তাই র‍্যামজে ও ট্র্যাভারস বাতাসের নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন অপসারিত করে "অবশেষে"'র ধারাবাহিক পরীক্ষা সুরু করলেন।

5.2c. **অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসের আবিষ্কার :** এই সময় অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গাসের আবিষ্কারের উদ্দেশ্যে পরীক্ষা চালাবার জন্য প্রচুর পরিমাণে তরল বায়ু পাওয়া সম্ভব হওয়ায় অন্যান্য বিরল বা নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি পাওয়া অপেক্ষাকৃত সহজ হয়ে উঠল। অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন অপসারিত করে প্রাপ্ত গ্যাসীয় অবশেষকে একটি বাল্বে চাপে সংনমিত করে তরল বায়ুর সাহায্যে $-185°C$ তাপাংকে শীতল করা হলে দেখা গেল গ্যাসের প্রায় সবটাই তরলায়িত হয়ে যায়। তরল বায়ুর সংস্পর্শ থেকে বাল্বটি সরিয়ে এনে আধারস্থ মিশ্রণকে দ্রুত নিষ্কাশন করে তরল ও গ্যাসীয় অংশে পৃথক করা হল। গ্যাসীয় অংশকে তরল হাইড্রোজেনে $-240°C$ তাপাংকে শীতল করলে এক অংশ পরিণত হল কঠিনে এবং অন্য অংশ পরীক্ষায় প্রমানিত হল হিলিয়াম বলে। এই কঠিন পদার্থ দেখা গেল আর একটা নতুন মৌল। এর নাম দেওয়া হল **নিয়ন** অর্থাৎ নতুন। তরল অংশের আংশিক পাতন (Fractional distillation) করে প্রথমে পাওয়া গেল আর্গন তারপর আরও দুটো নতুন গ্যাস ক্রিপ্‌টন [গ্রীকভাষায় ক্রিপ্‌টন = পলাতক] ও জেনন অর্থাৎ আগন্তুক। 120 টন তরল বায়ু থেকে পাওয়া "অবশেষে" আর অন্য কোনো গ্যাসের অস্তিত্বের প্রমাণ পাওয়া যায় নি।

5.2d. **চারকোল বা কাঠকয়লায় বৃত-শোষণের (selective adsorption) সাহায্যে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পৃথকীকরণ :** বায়ুমণ্ডলের এই বিরল গ্যাসগুলিকে অতি নিম্ন তাপাংকে সক্রিয় চারকোলের বৃত-শোষণের দ্বারা পরস্পরের থেকে পৃথক করা যায়। $-100°C$ তাপাংকে এক নিম্নতাপগাহে স্থিত একটি বাল্বে গৃহীত সক্রিয় চারকোলের মধ্যে গ্যাসীয় মিশ্রণকে চালিত করলে সক্রিয়

চারকোল এদের মধ্য থেকে একমাত্র আর্গন, ক্রিপ্‌টন ও জেননকে বহির্ধৃত (adsorb) করে ; হিলিয়াম ও নিয়ন বহির্ধৃত হয় না। তাদের পাম্প করে অন্যত্র $-180°C$ তাপাংকে শীতল করা সক্রিয় চারকোলের আর একটি বাল্‌বে চালিত করা হলে কেবলমাত্র নিয়ন বহির্ধৃত হয় এবং অবহির্ধৃত হিলিয়ামকে পাম্প করে বের করে আনা হয়।

প্রথম চারকোল বাল্‌বটি বহির্ধৃত গ্যাস সমেত তৃতীয় একটি বাল্‌বের সাথে সংযোজিত করে তরল বায়ুর তাপমাত্রায় (স্ফুটনাংক $-190°C$) শীতল করলে সর্বপ্রথম বেরিয়ে আসে আর্গন। এরপর প্রথম চারকোল বাল্‌বটি বহির্ধৃত ক্রিপটন ও জেনন সমেত $-80°C$ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ ক্রিপ্‌টন পাওয়া যায়। $0°$ পর্যন্ত তাপাংকে উত্তপ্ত করলে বহির্ধৃত ক্রিপ্‌টন ও জেনন উভয়েই নির্গত হয়। এই গ্যাসমিশ্রণ চতুর্থ একটি চারকোল বালবে $-150°$ তাপমাত্রায় ঘনায়িত করে $-180°$ তাপমাত্রায় স্থিত পঞ্চম একটি চারকোল বাল্‌বের সঙ্গে সংযোজিত করে দিলে ক্রিপটন পাওয়া যায় এবং পঞ্চম বাল্‌বের মধ্যে পড়ে থাকে কেবলমাত্র জেনন।

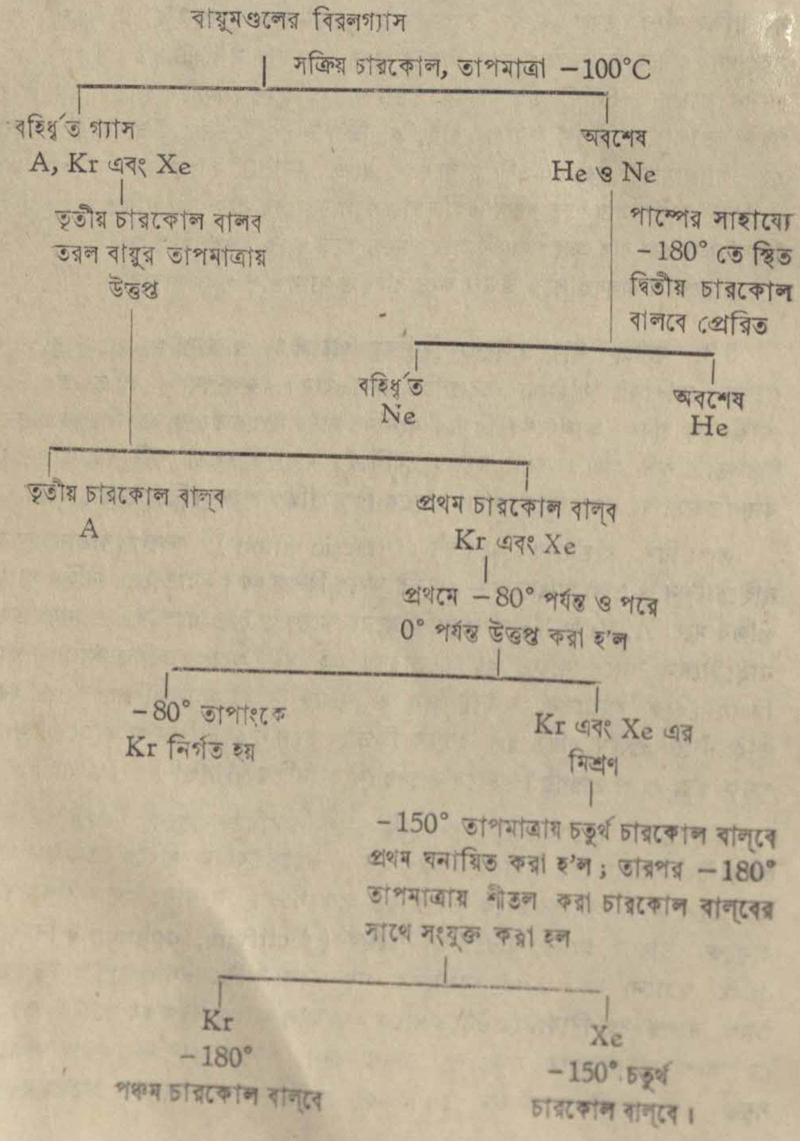
চারকোল বাল্‌বগুলিকে উত্তপ্ত করে বহির্ধৃত গ্যাসগুলি পুনরুদ্ধার করা হয়।

5.3. **তরল বায়ু থেকে নিষ্ক্রিয় গ্যাস ঃ** বাতাসকে লিণ্ডে-মেশিন বা ক্লডের মেশিনের সাহায্যে তরলায়িত করা যায়। জুল-থমসন বর্ণিত প্রভাব বা আন্তঃ আণবিক আকর্ষণের বিরুদ্ধে সংনমিত বায়ুর সম্প্রসারণের জন্য লিণ্ডের মেশিনে শীতলতার সৃষ্টি হয়। আর ক্লডের মেশিনের দ্বারা শীতলতা সৃষ্টি হয় এঞ্জিনস্থিত বায়ুর রুদ্ধতাপীয় সম্প্রসারণের দ্বারা বায়ুকে কিছু যান্ত্রিক কাজ করিয়ে নেবার জন্য।

তরলায়িত বাতাসের অংশায়ন (fractionation) করলে বাতাস মূলতঃ নাইট্রোজেন ও তরল অক্সিজেন—এই দুই অংশে বিভক্ত হয়। বাতাসের নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির মধ্যে A, Kr ও Xe তরল অক্সিজেনের অংশে ও He এবং Ne প্রধানতঃ তরল নাইট্রোজেন অংশে সঞ্চিত হয়। তারপর এই দুই অংশের ক্রমিক অংশায়ন করে মিশ্রণ থেকে অক্সিজেন, নাইট্রোজেন ও অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি পৃথক করা হয়। তাই নীচে প্রথমে বর্ণিত হল বায়ুকে কিভাবে তরল নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন অংশে পৃথক করা হয় ও তারপর কিভাবে তাদের থেকে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি পাওয়া যায়।

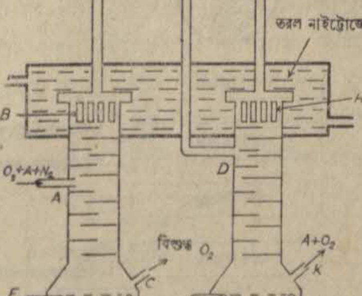
বায়ুমণ্ডলের চাপের 40 গুণ বেশী চাপে সংনমিত বায়ুকে একটি এঞ্জিনে রুদ্ধতাপীয় সম্প্রসারণের মাধ্যমে যান্ত্রিক কাজ করতে বাধ্য করিয়ে শীতল করা হয়। এর ফলে বায়ু আংশিকভাবে তরলায়িত হয়ে পড়ে। সংনমিত এই আংশিক তরল বায়ুকে তারপর ক্লডের পরিশোধন স্তম্ভের (rectifying column) নিম্নভাগে প্রবিষ্ট করানো হয়। এই সংনমিত বায়ু তরল অক্সিজেনগাহে স্থিত কতকগুলি উল্লম্ব নলের মধ্য দিয়ে উর্ধে উঠতে থাকে এবং ফলে আরও তরল হয় পড়ে। তরলের যে অংশ নাইট্রোজেনে সমৃদ্ধ তা' ক্রমশঃ একটি গ্রাহকে এসে জমা হয় ও অক্সিজেন সমৃদ্ধ অংশ একটি কক্ষে জমা হয়। এই অক্সিজেনসমৃদ্ধ অংশকে স্তম্ভের মধ্যবর্তী

কোন অংশে প্রেরণ করা হয়। স্তম্ভের শীর্ষভাগ থেকে পরিশোধিত নাইট্রোজেন নির্গত হয় এবং তরল অক্সিজেন ক্রমশঃ একটি প্রকোষ্ঠে সঞ্চিত হতে থাকে। গ্যাসীয় অক্সিজেন এই প্রকোষ্ঠের নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। তাপের মিতব্যয়িতার জন্য তরল অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের শীতলতার সাহায্যে প্রবেশমান নাইট্রোজেন-অক্সিজেনের গ্যাসীয় প্রবাহকে শীতল করা হয়। সংগৃহীত গ্যাসগুলিকে অতিরিক্ত চাপে ইস্পাতের সিলিণ্ডারে সংগ্রহ করা হয়।



তরল নাইট্রোজেনের অংশ থেকে হিলিয়াম ও নিয়নঃ তরল বায়ুকে বিভিন্ন অংশে পৃথক করবার সময় তরল নাইট্রোজেন অংশে গ্যাসীয় হিলিয়াম ও নিয়ন তরলায়ন স্তম্ভে (liquifying column) নাইট্রোজেনের উপরে সঞ্চিত হয়। গ্যাসীয় মিশ্রণকে সর্পিল আকারের একটি টিউবের মধ্য দিয়ে পরিশোধন স্তম্ভের উচ্চতর অংশে পাঠিয়ে দেওয়া হয়। এই অংশটি তরল নাইট্রোজেনে শীতল করা থাকে ; ফলে নাইট্রোজেনের প্রায় সবটাই ঘনীভূত হয়ে হিলিয়াম-নিয়ন মিশ্রণ থেকে পৃথক হয়ে পড়ে। হিলিয়াম ও নিয়নের মিশ্রণকে এরপর উত্তপ্ত ক্যালসিয়াম কারবাইডের উপর দিয়ে চালিত করলে সঙ্গে মিশ্রিত নাইট্রোজেন শোষিত হয়ে যায় এবং অবশিষ্ট অংশ তরল হাইড্রোজেনে শীতল করলে নিয়ন তরলায়িত হয়ে পড়ে ও হিলিয়াম গ্যাসরূপে নির্গত হয়।

তরল অক্সিজেন অংশ থেকে আর্গন ও অন্যান্য গ্যাসগুলিঃ তরল অক্সিজেনের মিশ্রণ থেকে আর্গনকে তিনটি সংশোধনী স্তম্ভের (rectifying column) সাহায্যে পৃথক করা হয়। শতকরা 4 থেকে 5 ভাগ আর্গন সমন্বিত কিছুটা নাইট্রোজেনযুক্ত তরল অক্সিজেন প্রথম সংশোধনী স্তম্ভের A অংশে পাঠানো হয়। সংশোধনী স্তম্ভের উপরের দিকগুলি একসারি নলের সমবায়ে গঠিত। এগুলি তরল নাইট্রোজেনে শীতল করা থাকে। অশোধিত তরল অক্সিজেন প্রথম সংশোধনী স্তম্ভে এসে অংশায়িত হয়ে পড়ে ও অপেক্ষাকৃত বেশী উদ্বায়ী নাইট্রোজেন ও আর্গনের (1 : 1) ও শতকরা 10 ভাগ অক্সিজেন যুক্ত মিশ্রণ দ্বিতীয় সংশোধনী স্তম্ভের মধ্যভাগে এসে প্রবেশ করে। তরল অক্সিজেন M অংশে এসে সঞ্চিত হয় এবং সর্পিল নল F এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংনমিত বায়ুর উষ্ণতায় আবার গ্যাস হয়ে C দিয়ে বেরিয়ে আসে। স্তম্ভের মাথা দিয়ে বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন বেরিয়ে যায় ও তরল আর্গন (কিছু অক্সিজেন ও সামান্য নাইট্রোজেন সমেত) তলায় এসে সঞ্চিত হয়।



চিত্র নং ৫

এই মিশ্রণকে তৃতীয় সংশোধনী স্তম্ভের মধ্যভাগে D-অংশে প্রেরণ করা হলে উর্ধভাগের তরল নাইট্রোজেনে শীতল করা নলগুলি দিয়ে বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন বেরিয়ে যায়। এবং আর্গন, অক্সিজেন ও অতি সামান্য নাইট্রোজেন স্তম্ভের তলদেশে এসে সঞ্চিত হয়। এইখানে কুণ্ডলীর ভিতর দিয়ে প্রবাহিত সংনমিত বায়ুর তাপমাত্রা আবার আর্গন ও অক্সিজেনকে গ্যাসে পরিণত করে। আর্গন ও অক্সিজেন K দিয়ে নিষ্ক্রান্ত হয়। তপ্ত কপারের দ্বারা অক্সিজেনকে অপসারণ করে আর্গন সংগ্রহ করা হয়। দেখা গেছে ঠিকভাবে শোধিত হলে শতকরা

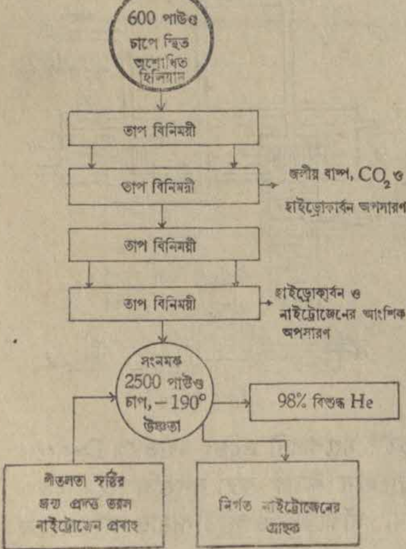
0.5 ভাগ নাইট্রোজেন ও 0.1 ভাগেরও কম অক্সিজেন যুক্ত অর্থাৎ 99.5% বিশুদ্ধ আর্গন পাওয়া যায়। অশোধিত আর্গনকে পাতিত করলে প্রথমে বেরিয়ে আসে বিশুদ্ধ আর্গন তারপর যথাক্রমে ক্রিপটন ও জেনন। [এদের স্ফুটনাংক যথাক্রমে 87°K, 121°K ও 164°K].

হিলিয়াম

5.4. অবস্থান বা উৎস : (1) পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে শতকরা 0.00052 আয়তনিক ভাগে হিলিয়াম পাওয়া যায়। (2) বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় ইউরেনিয়াম যৌগের মধ্যে অন্তর্ধৃত অবস্থায় হিলিয়াম থাকে। ত্রিবাংকুরের মোনাজাইট বালুতে প্রতি গ্রামে এক মিলিলিটার হিলিয়াম থাকে। থোরিয়াম থেকে আল্‌ফা কণার নিঃসরণ ঘটে এবং এই আল্‌ফা কণা ইলেকট্রন গ্রহণ করে হিলিয়ামে পরিণত হয়। (3) প্রাকৃতিক উষ্ণ প্রস্রবণ থেকেও হিলিয়াম পাওয়া যেতে পারে। (4) আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্র ও কানাডায় খনিজ তেলের গহ্বর থেকে সংগৃহীত প্রাকৃতিক গ্যাসই হচ্ছে হিলিয়ামের সবচেয়ে বড় উৎস।

প্রস্তুতি : 1. তরল বায়ু থেকে : (আগে আলোচনা করা হয়েছে)

2. ক্লিভাইট থেকে : ক্লিভাইট, মোনাজাইট, থোরিয়ানাইট ইত্যাদি তেজস্ক্রিয় খনিজকে খুব ভালভাবে চূর্ণ করে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দিয়ে উত্তপ্ত করলে অন্তর্ধৃত হিলিয়াম খনিজ থেকে বেরিয়ে আসে। সংগে মিশ্রিত হাইড্রোজেন ও কার্বনডাই-অক্সাইডকে যথাক্রমে তপ্ত কপার অক্সাইড দিয়ে জারিত ও কস্টিক সোডার সাহায্যে শোষিত করে দূর করা হয়। সংগে মিশ্রিত নাইট্রোজেন 600° তাপমাত্রায় তপ্ত ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম দিয়ে শোষণ করে অপসারিত করার পর প্রাপ্ত হিলিয়ামকে উত্তপ্ত কোয়ার্টজ গ্লাসের পাত্রে ব্যাপনের সাহায্যে বিশুদ্ধ করা হয়।



চিত্র নং ৬

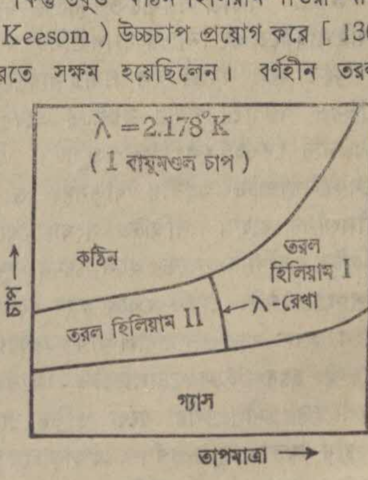
প্রাকৃতিক গ্যাস থেকে হিলিয়াম প্রস্তুতি

3. প্রাকৃতিক গ্যাস থেকে : তেলের কূপ থেকে পাওয়া প্রাকৃতিক গ্যাসকে 600 পাউণ্ড চাপে সংনমিত করে কতকগুলি তাপ-বিনিময়ীর (Heat

exchanger) মাধ্যমে গ্যাসের থেকে জলীয় বাষ্প ও কার্বন ডাই-অক্সাইড পৃথক করে নেওয়া হয়। এখানে গ্যাসের হাইড্রোকার্বন ও জলীয় অংশ শীতল হয়ে গ্যাসের থেকে পৃথক হয়ে পড়ে; এই হাইড্রোকার্বন জ্বালানী হিসাবে ব্যবহৃত হয়। প্রায় সমায়তন নাইট্রোজেন যুক্ত অশোধিত এই হিলিয়ামকে 2500 পাউণ্ড চাপে সংনমিত করে তরল নাইট্রোজেনের সাহায্যে $-190°C$ উষ্ণতায় শীতল করা হয়। এর ফলে হিলিয়ামের সাথে মিশ্রিত নাইট্রোজেন তরল হয়ে পড়ে। নাইট্রোজেন অপসারিত করে যে হিলিয়াম পাওয়া যায় তা শতকরা 98 ভাগ বিশুদ্ধ।

5.5. হিলিয়ামের ধর্ম: সমগ্র পর্যায় সারণীর মধ্যে হিলিয়াম এক অদ্বিতীয় মৌল। হিলিয়ামকে কঠিন অবস্থায় পরিণত করতে হলে সর্বদা উচ্চ চাপের প্রয়োজন হয়। হিলিয়ামকে কঠিন অবস্থায় পরিণত করতে কমপক্ষে 25 অ্যাটমস্‌ফিয়ার চাপ দরকার। এর গলনাংক নির্ণয় করা হয় উক্ত চাপে তাপমাত্রার 'extrapolated value' থেকে। হিলিয়ামের ভৌতধর্মের বিশিষ্টতার কারণ নির্দেশ করে বলা হয়েছে, পরমাণুতে ইলেকট্রনের সংখ্যাল্পতা, যে কোয়াণ্টাম স্তরগুলিতে ইলেকট্রনগুলি বিন্যস্ত তার সবগুলির সম্পৃক্ততা ও মৃদু ভ্যান ডার ওয়ালস বলই এর কারণ।

হাইড্রোজেনের পর হিলিয়ামই সবচেয়ে হাল্‌কা গ্যাস। সমস্ত গ্যাসের মধ্যে একে তরলায়িত করা সবচেয়ে কষ্টসাধ্য এবং এই গ্যাস সবচেয়ে কম দ্রবণীয়। তরল হিলিয়াম পেতে গেলে জুল-থমসন সম্প্রসারণ দ্বারা প্রথমে একে এর উৎক্রম তাপাংকের (Inversion temperature) নীচে শীতল করে নিতে হয়। হিলিয়ামকে প্রথম তরল করেন ক্যামারলিং ওনেস 1907 খৃষ্টাব্দে। তরল হিলিয়ামের স্ফুটনাংক 4.2°K। দ্রুত বাষ্পীভবনের দ্বারা তরল হিলিয়ামের তাপমাত্রা কমিয়ে 0.82°K পর্যন্ত হ্রাস করা সম্ভব হয়েছিল, কিন্তু তবুও কঠিন হিলিয়াম পাওয়া যায় নি। ওনেসের মৃত্যুর পর তার ছাত্র কীসম (Keesom) উচ্চচাপ প্রয়োগ করে [130 অ্যাটমসফিয়ার] হিলিয়ামকে কঠিন করতে সক্ষম হয়েছিলেন। বর্ণহীন তরল হিলিয়ামের ঘনাংক মাত্র 0.122°K.



চিত্র নং ৭

হিলিয়াম I ও হিলিয়াম II এই দুই অবস্থায় তরল হিলিয়াম থাকে। বিভিন্ন নিম্নতাপমাত্রায় হিলিয়ামের দশাচিত্র অংকন করলে দেখা যাবে তরলের দুই রূপের মধ্যে অবস্থান্তর প্রাপ্তি ঘটে λ-রেখা নামে এক সন্ধি রেখা বরাবর।

তরল হিলিয়াম I এক সম্পূর্ণ স্বাভাবিক তরল। কিন্তু তরল হিলিয়াম II-এর ধর্ম এতই অনন্যসাধারণ যে কেউ কেউ মৌলের এইরূপকে পদার্থের চতুর্থ অবস্থা (Fourth state of matter) আখ্যা দিয়েছেন। যখন কোন পাত্রে

স্ফুটনরত তরল হিলিয়াম I-কে λ-রেখার নিচের তাপমাত্রায় শীতল করা হয়, তখন মনে হয় সহসা স্ফুটন যেন স্তব্ধ হয়ে গেছে এবং তরলটি প্রায় অদৃশ্য হয়ে পড়ে। তরল I থেকে তরল II-এ পরিণত হবার সঙ্গে সঙ্গে একাধিক ভৌত ধর্মেও [যেমন আপেক্ষিক তাপ, তাপ-পরিবাহিতা, সংনমতা, পৃষ্ঠ টান, সান্দ্রতা ইত্যাদির] পরিবর্তন হয়।

তরল হিলিয়াম II-এর সান্দ্রতা অত্যন্ত কম (হাইড্রোজেন গ্যাসের 0.001 ভাগ) ও তাপ পরিবাহিতা অত্যন্ত বেশী (সাধারণ তাপমাত্রায় কপারের 800 গুণ)। তরল হিলিয়াম II এর আর এক বৈশিষ্ট্য এর অদ্ভুত প্রবাহ-ক্ষমতা। সমকেন্দ্রিক দুটি পাত্রের মধ্যেরটিতে তরল হিলিয়াম II রাখলে দেখা যাবে অপেক্ষাকৃত উচ্চ উঁচু পাত্রটির দেওয়াল অতিক্রম করে অন্য পাত্রটির মধ্যে তরল হিলিয়াম II প্রবাহিত হয়ে দু'টি পাত্রের তরলের তল সমান করে ফেলেছে (Flow of Superfluid film or Rollen film)।

তরল হিলিয়াম II-এর আণবিক গঠন মুক্ত এবং এর মধ্যে বহু পরমাণু নিম্ন শক্তি-সম্পন্ন স্তরে আছে [এর ফলে সুপারফ্লুইডের সান্দ্রতা সৃষ্টি হয়]। এর মধ্যে কিছু সংখ্যক উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন পরমাণু (বা গ্যাসীয় পরমাণু) ঘুরে বেড়ায়। এককথায় একে গ্যাসীয় ধর্মবিশিষ্ট তরল বলে বা অপজাত (degenerated) গ্যাস বলে আখ্যা দেওয়া যেতে পারে। উল্লিখিত superfluid-এ পরমাণুগুলির শক্তি হ্রাস পেয়ে এমন স্তরে পৌছয় যেখানে পরমাণুগুলির তাপজনিত গতি স্তব্ধ হয়। তথাপি পরমাণুগুলির পরস্পরের আকর্ষণ এত তীব্র হয় না যার ফলে তারা কঠিনীভূত হয়ে যেতে পারে। এখানে উল্লেখ্য যে হিলিয়ামের যে আইসোটোপের ভর 4 তারই কেবল এই বৈশিষ্ট্যগুলি থাকতে পারে।

5.5a. পর্যায় সরণীতে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের স্থান ঃ মেণ্ডেলিয়েফের প্রাথমিক পর্যায় সারণীতে এই নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির কোনো উল্লেখ ছিল না। আর্গন ও হিলিয়াম আবিষ্কৃত হলে সমস্যা হল পর্যায় সারণীতে এদের অবস্থান কোথায় হবে। র‍্যামজের অভিমত অনুসারে পর্যায় সরণীতে এদের জন্য এক নতুন গ্রুপ সৃষ্টি করা হল—যার নাম দেওয়া হল "শূন্য গ্রুপ"। এই নতুন গ্রুপের অবস্থান হল সর্বাপেক্ষা ইলেকট্রোপজিটিভ ক্ষারীয় ধাতুসমূহ ও সর্বাপেক্ষা ইলেকট্রোনেগেটিভ হ্যালোজেন মৌলগুলির মধ্যে। পজিটিভ সংখ্যা থেকে নেগেটিভ বা নেগেটিভ সংখ্যা থেকে পজিটিভ সংখ্যায় যেতে হলে যেমন শূন্যকে অতিক্রম করতে হয়, তেমনি চরম ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল থেকে চরম ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌলে ক্রমিকভাবে আসতে গেলে এমন কতকগুলি মৌল থাকা দরকার যারা তড়িত রাসায়নিক ধর্মে নিরপেক্ষ। কাজেই চরম ইলেকট্রোপজিটিভ ক্ষারীয় ধাতু ও চরম ইলেকট্রোনেগেটিভ হ্যালোজেন মৌলগুলির মধ্যে তড়িত রাসায়নিক ধর্মে নিরপেক্ষ নিষ্ক্রিয় গ্যাসের অবস্থান অত্যন্ত যুক্তিপূর্ণ। এ ছাড়া কোনো নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পূর্ববর্তী হ্যালোজেন অ্যাটম অপেক্ষা সেই নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরবর্তী ক্ষারীয় ধাতুতে ইলেকট্রন স্তরের (shell) সংখ্যা একটি বেশী হয়, কিন্তু উল্লিখিত নিষ্ক্রিয় গ্যাস ও হ্যালোজেন

পরমাণুতে ইলেকট্রন স্তরের সংখ্যা সমান থাকে, কাজেই নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুগুলিকে ইলেকট্রনীয় কাঠামোর ভিত্তিতে পর্যায় সারণীর এক একটি পর্যায়ের প্রান্তিক মৌল বলা যেতে পারে। এর পর থেকেই আবার নতুন করে ইলেকট্রন-স্তর সুরু হয়। অতিরিক্ত একটি ইলেকট্রন বাড়ালে একটা নতুন ইলেকট্রন স্তরের প্রয়োজন হয় অতিরিক্ত ইলেকট্রনটির সংস্থানের জন্য এবং মৌলটি হয় একটি ক্ষারীয় ধাতু। কাজেই এই তথ্য বিচারেও নিষ্ক্রিয় গ্যাসের স্থান হওয়া উচিত ক্ষারীয় ধাতু ও হ্যালোজেন মৌলগুলির মধ্যে। এ ছাড়া পর্যায় সরণীতে যে মৌল যে গ্রুপের অন্তর্গত সেই গ্রুপের ক্রমিকসংখ্যা সেই গ্রুপস্থ মৌলগুলির উর্ধতন অক্সাইডে তাদের যে যোজ্যতা তার সমান। কাজেই নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির যোজ্যতা শূন্য হবার জন্য এরা শূন্য গ্রুপের অন্তর্গত হবে। সর্বোপরি লোথার মায়ারের পারমাণবিক আয়তন লেখতে এদের, লেখ-র কোনো চরিত্রের পরিবর্তন না করেই, সন্নিবিষ্ট করা গেছে। এই সব দিক থেকে নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হয় যে পর্যায় সারণীতে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের সংস্থান যথার্থ ও সঠিক।

নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুগুলির যোজ্যতা শূন্য হবার ফলে নিজেদের মধ্যে যুক্ত হবার ক্ষমতাও নেই। কাজেই এদের ক্ষেত্রে পরমাণুই অণু বা বলা যেতে পারে অণুতে একটিমাত্র পরমাণু আছে।

নিষ্ক্রিয় গ্যাসের প্রতি মৌলে যে কেবলমাত্র একটি পরমাণু থাকে তা নিচের যুক্তি থেকে প্রমানিত হয়।

1. নির্দিষ্ট চাপে ও নির্দিষ্ট আয়তনে নির্ণেয় আপেক্ষিক তাপের অনুপাত নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ক্ষেত্রে সর্বদা 1.67. অর্থাৎ $Cp/Cv = 1.67$ এই মান একটি পরমাণুবিশিষ্ট পারদ বাষ্পের মানের সঙ্গে সমান।

2. এদের প্রতিসরাংক [Refractive Index], ডাই-ইলেকট্রিক কনস্ট্যাণ্ট ও জীমান-প্রদর্শন (Zeemann effect) অণুতে মাত্র একটি পরমাণুর অস্তিত্ব নির্দেশ করে।

3. নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রনীয় কাঠামো এমনই যে একই প্রকারের পরমাণু সহযোগে (যেমন একটি Ne পরমাণুর সাথে আর একটি Ne পরমাণুর) অণু গঠনও এখানে সম্ভব নয়।

5.6. ব্যবহার : হাইড্রোজেন ছাড়া সকল গ্যাসের চেয়ে হাল্কা ও অদাহ্য বলে হিলিয়াম পর্যবেক্ষণকারী বেলুন ও বিমানপোতে বহুল ব্যবহৃত হয়। গভীর সমুদ্রে ডুবুরীদের নিঃশ্বাসপ্রশ্বাসের জন্য নাইট্রোজেন-অক্সিজেন মিশ্রণের পরিবর্তে আজকাল হিলিয়াম-অক্সিজেন মিশ্রণ ব্যবহার করা হয়। কারণ সমুদ্রের তলায় উপরের জলের প্রচণ্ড চাপের ফলে কিছু নাইট্রোজেন রক্তে দ্রবীভূত হয়ে যায় এবং সমুদ্রের গভীর থেকে পৃথিবীপৃষ্ঠে উঠে এলে চাপ কমে যাবার ফলে দ্রবীভূত নাইট্রোজেন বুদ্‌বুদ্ আকারে বেরিয়ে আসে ও এতে শরীরে প্রচণ্ড জ্বালা ও বেদনা হয়। একে বলে Caission disease. চাপে হিলিয়াম নাইট্রোজেনের চেয়ে অনেক কম দ্রবীভূত

হয় বলে এক্ষেত্রে নাইট্রোজেনের পরিবর্তে হিলিয়াম ব্যবহার করা হয়। এ ছাড়া কৃত্রিম শ্বাসকার্যে, অতি নিম্নতাপাংক নির্দেশক গ্যাস থার্মোমিটারে, ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম্, টাংস্টেন, টাইটেনিয়াম ও স্টেনলেস স্টীলের ওয়েলডিং এর সময় নিষ্ক্রিয় গ্যাসের আবরণ স্থষ্টির জন্যও হিলিয়াম ব্যবহার করা হয়।

আর্গন প্রধানতঃ ব্যবহার করা হয় ইলেকট্রিক বালব, ফ্লুরোসেণ্ট বাতি, থার্মোআয়োনিক টিউব, গাইগার কাউণ্টার টিউব পূর্ণ করার জন্য ও গ্যাস ক্রোমাটোগ্রাফিতে।

সমস্ত প্রকারের নিষ্ক্রিয় গ্যাস বিজ্ঞাপন ও আলোকসজ্জার উদ্দেশ্যেই সর্বাধিক ব্যবহৃত হয়। অল্প চাপে তড়িত মোক্ষণে নিয়ন গ্যাস একটি স্থন্দর কমলা-লাল আলো স্থষ্টি করতে পারে এবং এই ফ্লুরোসেণ্ট বাতিগুলিতে বৈদ্যুতিক শক্তি ব্যয় সাধারণ টাংস্টেন ফিলামেণ্ট বাতির থেকে কম হয়। নিয়ন আলো কুয়াশার মধ্যেও পরিষ্কার দেখা যায় বলে বেকনলাইট হিসাবে ও উড়োজাহাজে এর ব্যবহার হয়। ক্রিপটনও নিয়নের মতো বাতিতে ব্যবহার করা হয়ে থাকে ; বাতিতে ছাড়াও জেনন দ্রুতগতি আলোকচিত্রে ফ্লাশটিউবে ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

5·7. নিষ্ক্রিয় গ্যাসের সনাক্ত করণ : সাধারণতঃ নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলিকে তাদের বৈশিষ্ট্যস্থচক বর্ণলিপি থেকে সনাক্ত করা হয়।

(i) হিলিয়াম : একে এক উজ্জ্বল হলুদ D_3 রেখা থেকে এবং $\lambda=5016A^{\circ}$ -এ এক সবুজ রেখা থেকে সনাক্ত করা যায়। কোনো মিশ্রণে (10^{9}cc মিশ্রনে 1 ভাগ হিলিয়াম থাকলেও) এ পদ্ধতিতে হিলিয়ামকে সনাক্ত করা যায়। এর সঙ্গে অন্য নিষ্ক্রিয় গ্যাস মিশ্রিত থাকলে, সনাক্তকরণের আগে অন্যান্য গ্যাসগুলিকে সক্রিয় চারকোলের বৃতশোষনের দ্বারা অপসারিত করে নেওয়া হয়।

(ii) নিয়ন : বর্ণালীর কমলা ও লাল-অংশস্থিত বৈশিষ্ট্যস্থচক রেখা থেকে নিয়নকে সনাক্ত করা যায়।

(iii) আর্গন : আর্গনকেও স্পেকট্রোস্কোপের দ্বারা সনাক্ত করা যায়। আর্গনেরও বৈশিষ্ট্যস্থচক রেখা আছে। তবে আর্গনকে সনাক্ত করতে হলে নাইট্রোজেনের অনুপস্থিতি একান্ত বাঞ্ছনীয়।

(iv) ক্রিপটন ও জেননেরও বৈশিষ্ট্যস্থচক রেখা আছে।

5.8. আণবিক ওজন নির্ণয় :

নিম্নলিখিত সমীকরণ থেকে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের আণবিক ওজন (বা পরমাণুর ওজন) নির্ণয় করা যায়।

$$M\,(Cp-Cv)=R \quad বা \quad M=\frac{R}{Cp-Cv}$$

যেখানে C_p = ধ্রুবক চাপে আপেক্ষিক তাপ
C_v = ধ্রুবক আয়তনে আপেক্ষিক তাপ
R = আণবিক গ্যাস ধ্রুবক
M = আণবিক ওজন

পরীক্ষার সাহায্যে C_p ও C_v নির্ণয় করা যেতে পারে এবং R একটি ধ্রুবক। কাজেই এ থেকে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের আণবিক ওজন নির্ণয় করা যেতে পারে।

5.9 নিষ্ক্রিয় গ্যাসের যৌগ : সাধারণ অর্থে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কোনো অংশগ্রহণ করে না। বিভিন্ন জারক ও বিজারকের সাহায্যে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের সাথে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটিয়ে যৌগ প্রস্তুতের সব প্রচেষ্টাই সাধারণভাবে ব্যর্থ হয়েছে। নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পারমাণবিক গঠনের এই অপেক্ষাকৃত বেশী স্থায়িত্বের কারণ (i) এর সব ইলেকট্রনগুলিই জোড়বদ্ধ ও (ii) এদের মধ্যে যোজনক্ষম কক্ষপথের (bonding orbital) অভাব (iii) এই পরমাণুগুলি অপরিবর্তনশীল শক্তিস্তরে বিদ্যমান (exists in stable energy state) এবং এই সব মৌলের পাউলিং বর্ণিত শক্তিস্তরের রেখাচিত্রের ছেদ থেকে এই তথ্য প্রতীত হয়। এছাড়া (iv) সুতুঙ্গ আয়নন বিভব, প্রায় উপেক্ষণীয় ইলেকট্রন অ্যাফিনিটি ও পরবর্তী মৌলগুলির নিম্নমানের আয়নন বিভব ও পূর্ববর্তীগুলির তীব্রতর ইলেকট্রন অ্যাফিনিটিই এর কারণ।

উল্লিখিত প্রতিকূল অবস্থা সত্ত্বেও নিষ্ক্রিয় গ্যাসের যৌগ গঠনের কিছু কিছু দৃষ্টান্ত জানা গেছে। সেগুলি হল :

(ক) **উত্তেজিত অবস্থায় যৌগ গঠন :** এই ধরণের যৌগের দৃষ্টান্ত মারকারি হিলাইড, প্ল্যাটিনাম, টাংস্টেন ইত্যাদির হিলাইড।

(খ) **কো-অর্ডিনেশনের মাধ্যমে যৌগ গঠন :** যেমন
$A.xBF_3$ যৌগসমূহ (x = 1,2,3,6,8,16)

(গ) **অন্য ডাইপোলের প্রভাবে ডাইপোল জনিত আকর্ষণে সৃষ্ট যৌগ :** যথা $Kr.2C_6H_5OH$, $Xe,2C_6H_5OH$, Li.nG n = 1, 2 এবং G = নিষ্ক্রিয় গ্যাস

(ঘ) ক্লাথরেট যৌগ : যথা, $A,3C_6H_4(OH)_2$,

(ঙ) জেননের যৌগ : উল্লিখিত যৌগগুলি রাসায়নিক হারে (Stoichiometric ratio) গঠিত নয়। কিন্তু 1962 খৃষ্টাব্দে বার্টলেট বাষ্পীয় প্ল্যাটিনাম হেক্সাফ্লোরাইডের সাথে জেননের বিক্রিয়ায় $Xe^+[PtF_6]^-$ সংযুক্তিবিশিষ্ট হলদে একটি যৌগ তৈরী করেছেন। এর পর জেননের সাথে অতিরিক্ত ফ্লোরিন মিশিয়ে 400°C উষ্ণতায় 1 ঘণ্টা উত্তপ্ত করে ও পরে একে −78° তাপাংকে শীতল

করে XeF_4 (একটি বর্ণহীন কেলাস) পাওয়া গেছে। জেননের অন্য সব উল্লেখ্য যৌগের মধ্যে $XeOF$, $XeOF_2$ ও $XeOF_3$, এবং XeF, XeF_3 ও XeF_3-এর নাম করা যেতে পারে।

প্রশ্নাবলী

1. নিষ্ক্রিয় গ্যাসের আবিষ্কারের ইতিহাসের বিবরণ দাও। কি ভাবে বাতাস থেকে আর্গন পাওয়া যেতে পারে এবং কি কি উদ্দেশ্যে আর্গন ব্যবহার করা যায়? (ক. বি. 1962)

   Give an account of the history of the discovery of the inactive gases. How is argon obtained from the air and for what purpose is it used? (C. U. 1962)

   [সংকেত : অনুচ্ছেদ 5.2a, 5.2b, 5.2c, 5.6 দেখ।]

2. কি কি উৎস থেকে হিলিয়াম পাওয়া যায়? হিলিয়ামের আবিষ্কারের সংক্ষিপ্ত ইতিহাস ও কি ভাবে হিলিয়াম পাওয়া যায়—তা' বর্ণনা কর। এর ব্যবহার সম্বন্ধে লেখ। (ক. বি. 1966)

   What are the sources of helium? Give a short account of the history of discovery and isolation of helium. Mention its uses. (C. U. 1966)

   [সংকেত : অনুচ্ছেদ 5.4, ও 5.6 দেখ]

3. বাতাস থেকে নিষ্ক্রিয় গ্যাস পাবার পদ্ধতি বর্ণনা কর। পর্যায় সারণীতে তাদের স্থান সম্বন্ধে আলোচনা কর। এইসব গ্যাসসমূহ কি ভাবে সনাক্ত করা যায় এবং কি ভাবে প্রমাণ করা যায় যে এদের অণু এক-পরমাণুবিশিষ্ট।

   Describe a process of isotation of the rare gases of the atmosphere. Discuss their position in the periodic table. How can you detect these gases and establish their monatomic nature?

   [সংকেত : অনুচ্ছেদ 5.3a, 5.5, 5.7 দেখ]

ষষ্ঠ অধ্যায়

হাইড্রোজেন

[পরমাণুক্রমাংক—1 : ইলেকট্রনীয় বিন্যাস $1s^1$; স্বাভাবিক ঘনত্ব 0.08987 গ্রা/লিটার, স্ফুটনাংক –252.78°, গলনাংক – 259° সন্ধিতাপাংক – 239·9 ; সন্ধি চাপ 12.8 মিমি. দ্রবণীয়তা 8°C এ 100 আয়তন জলে 2 আয়তন।

6.1a. ইতিহাস : 1672 খৃষ্টাব্দে রবার্ট বয়েল সর্বপ্রথম হাইড্রোজেন গ্যাস প্রস্তুত করেন এবং 1676 খৃষ্টাব্দে ক্যাভেণ্ডিশ এ সম্পর্কে প্রভূত গবেষণা করেন ও এর নাম দেন দহনশীল বায়ু (Inflammable air)। পরে তিনি আরও দেখান যে এই গ্যাস জলের একটি উপাদান। এই গ্যাসের এই ধর্ম থাকার জন্যই 1783 খৃষ্টাব্দে ল্যাভসিয়ের একে "হাইড্রোজেন" বা "জল উৎপাদনকারী" আখ্যা দেন। 1789 খৃষ্টাব্দে নিকলসন ও কার্লিসলি সর্বপ্রথম জলের তড়িৎবিশ্লেষণ ঘটিয়ে হাইড্রোজেন উৎপাদন করেন।

6.1b অবস্থান : মুক্ত বা মৌল অবস্থায় না পাওয়া গেলেও যৌগ হিসাবে প্রকৃতিতে প্রচুর পরিমাণে হাইড্রোজেন পাওয়া যায়। হাইড্রোজেনের প্রধান উৎস জল। সমস্ত প্রকার জৈব পদার্থের মধ্যে, অর্থাৎ প্রাণী ও উদ্ভিদ দেহে, পেট্রোলিয়াম, কয়লা ইত্যাদিতে প্রচুর পরিমাণে হাইড্রোজেন থাকে। মুক্ত অবস্থায় আগ্নেয়গিরি থেকে নির্গত গ্যাসে ও প্রাকৃতিক গ্যাসে কিছু পরিমাণে হাইড্রোজেন থাকে। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে অত্যন্ত সামান্য পরিমাণে (আয়তন হিসাবে দশ লক্ষ ভাগে একভাগ) ও সূর্যের আবহমণ্ডলে মুক্তাবস্থায় এর অস্তিত্বের সন্ধান পাওয়া গেছে। সবরকমের অ্যাসিড ও ক্ষারের মধ্যে হাইড্রোজেন পাওয়া যায়।

প্রস্তুতি : অ্যাসিড, জল বা ক্ষার—এই তিনটি থেকেই হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা যায়।

1. অ্যাসিড থেকে : যে সমস্ত ধাতুগুলি তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণীতে হাইড্রোজেনের উপরে প্রতিষ্ঠিত অর্থাৎ হাইড্রোজেন অপেক্ষা বেশী ধনাত্মক তড়িৎধর্মী (ইলেকট্রোপাজিটিভ) তাদের মধ্যে একমাত্র লেড ছাড়া সকল ধাতুই হাইড্রোক্লোরিক বা সালফিউরিক অ্যাসিডের মতো নির্জারণশীল অ্যাসিডের (non-oxidising) হাইড্রোজেনকে প্রতিস্থাপিত করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করতে পারে। তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণীতে কোন ধাতুর স্থান হাইড্রোজেন থেকে যত উচ্চে, তার প্রতিস্থাপনীয় বিক্রিয়া ঘটাবার সামর্থ্য তত বেশী।

সাধারণতঃ ল্যাবেরেটরীতে উল্ফ বোতলে লঘু হাইড্রোক্লোরিক (এক আয়তন গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও 4 আয়তন জলের মিশ্রণ) বা সালফিউরিক অ্যাসিডের (এক আয়তন গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও 5 আয়তন জল) সাথে

কনীকৃত দস্তার (granulatad zinc) বিক্রিয়া ঘটিয়ে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করা হয় ও জলের অপসারণ দ্বারা হাইড্রোজেন সংগ্রহ করা হয়।

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2 \uparrow$$

বিশুদ্ধ জিংক ব্যবহার করলে বিক্রিয়াগতি কমে ধীর হয়ে পড়ে, তাই অ্যাসিডের সাথে সামান্য পরিমাণে কপার সালফেটের জলীয় দ্রবণ মিশিয়ে দেওয়া বাঞ্ছনীয়। কিন্তু এই পদ্ধতিতে যে কোনো একটি উপকরণ নিঃশেষ না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়া চলতে থাকে ; ফলে উপকরণের অযথা অপচয় হয়। তাই রসায়নাগারে প্রয়োজনমত সদ্যপ্রস্তুত হাইড্রোজেন সরবরাহ পাবার জন্য কিপ্ যন্ত্রে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড ও অশুদ্ধ কনীকৃত জিংকের বিক্রিয়ার সাহায্যে হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা হয়।

বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন ঃ উপরোক্ত পদ্ধতিতে সালফিউরিক অ্যাসিড ও অশুদ্ধ জিংকের মধ্যে বিক্রিয়ায় প্রাপ্ত হাইড্রোজেনে নিচে বর্ণিত অপদ্রব্যগুলি থাকা খুবই সম্ভব।

(ক) আরসাইন, AsH_3 (সংশ্লিষ্ট জিংকের সাথে মিশ্রিত আর্সেনিক থেকে জাত)

(খ) ফসফিন, PH_3

(গ) হাইড্রোজেন সালফাইড ও সালফার ডাই-অক্সাইড—সালফিউরিক অ্যাসিডের বিজারণের ফলে উদ্ভূত

(ঘ) কার্বন ডাই অক্সাইড, (ঙ) জলীয় বাষ্প (চ) নাইট্রোজেন, (ছ) অক্সিজেন, (ঝ) নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলি (চেম্বার অ্যাসিড ব্যবহার করলে এগুলি থাকে, নচেৎ নয়)। এই সব অপদ্রব্যগুলি দূর করে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পেতে হলে প্রাপ্ত গ্যাসটিকে পর্যায়ক্রমে অনেকগুলি U-টিউবের মধ্য দিয়ে চালিত করতে হয়। এই U-টিউবগুলির মধ্যে থাকে যথাক্রমে

1 লেড নাইট্রেট — যা হাইড্রোজেন সালফাইডকে শোষণ করে।

2. সিলভার নাইট্রেট— যা ফসফিন ও আরসাইনকে শোষণ করে।

3, কস্টিক পটাশের গাঢ় দ্রবণ—SO_2, CO_2 ও নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডকে শোষণ করার জন্য ব্যবহৃত।

4 ক্রোমাস ক্লোরাইড — অক্সিজেন দূর করার জন্য।

5. ফসফোরাস পেণ্টঅক্সাইড — যা জলীয় বাষ্প শোষণ করে।

এরপর প্রাপ্ত গ্যাসকে পারদের অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়। নাইট্রোজেন দূর করার জন্য উক্ত গ্যাসকে প্যালাডিয়ামের পাতলা ধাতুপাতে পূর্ণ বায়ুশূন্য কাচের গোলকের মধ্য দিয়ে চালিত করলে কেবলমাত্র হাইড্রোজেন অন্তর্ধৃত হয় ও গোলকের নাইট্রোজেনকে পাম্প করে বার করে নেওয়া হয়। পরে গোলকটিকে অনুজ্জ্বল লাল অবস্থায় (dull red) উত্তপ্ত করলে হাইড্রোজেন মুক্ত হয়ে বেরিয়ে আসে।

সাধারণ ব্যবহারের জন্য বিশুদ্ধ করতে হলে প্রথমে ক্ষারীয় পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ও পরে কস্টিক পটাশ বা উপযুক্ত কোনো বিশোষক দিয়ে শোষিত করে নিলেই চলে।

ল্যাবোরেটরীতে নিকেলের তড়িতদ্বার যুক্ত একটি U-টিউবে বেরিয়াম হাইড্রক্সাইড যুক্ত উষ্ণ জলের তড়িত বিশ্লেষণ করিয়ে অতিবিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পাওয়া যেতে পারে। জল থেকে তড়িত বিশ্লেষণের ফলে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন ও অ্যানোডে অক্সিজেন সৃষ্টি হয়। এইভাবে প্রাপ্ত হাইড্রোজেনের সাথে যে সামান্য অক্সিজেন থাকে তাকে উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাইজড্ অ্যাসবেসটসের ওপর দিয়ে চালিত করলে, অক্সিজেন পুনরায় জলে পরিণত হয়। এই জলীয় বাষ্প প্রথমে পটাশিয়াম হাইড্রক্সাইড ও তারপর ফসফোরাস পেণ্টঅক্সাইডের দ্বারা শোষিত করে দূর করে পারদের অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

এছাড়া (a) জলের তড়িত বিশ্লেষণের দ্বারা হাইড্রোজেন উৎপন্ন করা যেতে পারে। পদ্ধতি পরে দেওয়া হল।

(b) ধাতুর সাথে বিভিন্ন অবস্থায় জলের বিক্রিয়াতেও হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা যায়।

(i) শীতল জল থেকে ধাতুর সাহায্যে: লিথিয়াম, সোডিয়াম, পটাশিয়াম ইত্যাদি ক্ষারীয় ধাতুর সাথে জলের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়ার তীব্রতা লিথিয়াম থেকে সিজিয়ামে ক্রমশঃ এমনই হারে বৃদ্ধি পেতে থাকে যে পটাশিয়াম, রুবিডিয়াম ও সিজিয়ামের ক্ষেত্রে জাত হাইড্রোজেন সশব্দে জলে ওঠে। ক্ষারীয় ধাতুর অ্যামালগাম (অর্থাৎ পারদ-সংকর) ব্যবহার করে বা ক্ষারীয় ধাতুর সাথে লেড মিশ্রিত করে বিক্রিয়ার তীব্রতা কমানো যায়।

$$2M + 2H_2O = 2MOH + H_2 \quad [\, M = Li, Na, K, Rb \text{ ও } Cs \,]$$

ম্যাগনেসিয়াম পাউডার ও ক্যালসিয়াম, বেরিয়াম, স্ট্রনশিয়ামের মত ক্ষারীয়-মৃত্তিকা ধাতু (alkaline earth metal) ধীরে ধীরে শীতল জলকে বিযোজিত (decompose) করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করতে পারে:

$$Ba + 2H_2O = Ba(OH)_2 + H_2$$

ফুটন্ত জলের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়ার সাহায্যে

ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম বা তাদের ধাতুসংকরের সাথে অথবা জিংক-কপার ধাতুযুগ্ম (Zn-Cu Couple) ফুটন্ত জলকে বিযোজিত করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করতে পারে।

$$Zn + 2H_2O = Zn(OH)_2 + H_2$$

$$2Al + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3H_2$$

অ্যালুমিনিয়ামের ধাতুপাতে আর্দ্র মারকিউরিক ক্লোরাইড্ ঘসে অ্যালুমিনিয়াম অ্যামালগাম তৈরী করা হয়। কনীকৃত (granulated) জিংকের উপর কপার

সালফেট দ্রবণ ঢেলে ও পরে সংশ্লিষ্ট লবণকে জল দিয়ে ধুয়ে ফেলে জিংক-কপার ধাতুযুগ্ম তৈরী করা হয়।

জলীয় বাষ্পের সাথে তপ্ত ধাতুর বিক্রিয়ার সাহায্যে :

লাল-তপ্ত ম্যাগনেশিয়াম, জিংক, কোবাল্ট, নিকেল, ক্রোমিয়াম ও ম্যাংগানিজ জলীয় বাষ্পের সাথে বিক্রিয়া করে সংশ্লিষ্ট ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রোজেন সৃষ্টি করে।

$$Zn+H_2O=ZnO+H_2$$
$$Mg+H_2O=MgO+H_2 \; ; \; 3Fe+4H_2O \rightleftarrows Fe_3O_4+4H_2$$

জলীয় বাষ্পের সাথে তপ্ত কার্বনের বিক্রিয়ার সাহায্যে :

1000° তাপাংকে শ্বেততপ্ত কারবনের উপর দিয়ে বাষ্প চালিত করলে সমায়তনিক পরিমাণে কার্বন মনোঅক্সাইড ও হাইড্রোজেন পাওয়া যায়। এই উভয় গ্যাসের মিশ্রণকে ওয়াটার গ্যাস বলে। যদিও ওয়াটার গ্যাসে সর্বদাই কিছু পরিমাণে কার্বন ডাইঅক্সাইড থাকে, এবং উত্তপ্ত অনুজ্জ্বল লাল অবস্থায় এর পরিমাণ বেশী হয়, তবুও তাপমাত্রার বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কার্বন ডাই অক্সাইডের পরিমাণ কমতে থাকে।

$$C+2H_2O=CO_2+2H_2$$ (উত্তপ্ত অনুজ্জ্বল লাল অবস্থায়)

$$C+H_2O=CO+H_2$$ (উত্তপ্ত উজ্জ্বল লাল অবস্থায়)

ক্ষারের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়ার সাহায্যে :

ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে কোনো কোনো ধাতুর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। কস্টিক সোডা বা পটাশের গাঢ় তপ্ত (20-30%) দ্রবণ জিংক, অ্যালুমিনিয়াম টিনকে দ্রবীভূত করে হাইড্রোজেন সৃষ্টি করে।

$$Zn+2NaOH=Na_2ZnO_2+H_2$$
$$Sn+2NaOH=Na_2SnO_2+H_2$$
$$2Al+2NaOH+2H_2O=2NaAlO_2+3H_2$$

6.2. পণ্য পদ্ধতি : প্রচুর পরিমাণে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করার জন্য শিল্পে যে পদ্ধতিগুলি ব্যবহার করা হয়, সেগুলি নীচে বর্ণিত হল।

6.2a. তড়িৎ বিশ্লেষণ পদ্ধতি : এই পদ্ধতিতে নোলেস সেলে স্বল্প পরিমাণ সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রিত জল বা 20 শতাংশ কস্টিক সোডার দ্রবণ একটি কাস্ট-আয়রন ট্যাংকে নেওয়া হয়। পর্যায়ক্রমে পরপর প্রলম্বিত লোহার চাদর অ্যানোড ও ক্যাথোডের কাজ করে। অ্যানোডীয় জারণ প্রতিহত করার জন্য অ্যানোডগুলির উপর নিকেলের আস্তরণ থাকে এবং প্রত্যেক ইলেকট্রোডের উপর গ্যাস সংগ্রহের জন্য বেলজারের আকারের সিলিণ্ডার লাগানো থাকে। ইলেকট্রোড-গুলি পরস্পরের থেকে অ্যাসবেসটসের সছিদ্র পর্দা দিয়ে পৃথক করা থাকে। এর ফলে ক্যাথোডে জাত হাইড্রোজেন ও অ্যানোডে জাত অক্সিজেন মিশে বিস্ফোরক মিশ্রণ সৃষ্টি করতে পারে না। এই পদ্ধতিতে প্রাপ্ত হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের

বিশুদ্ধতা হল 99.9% ও 99.6%। অ্যামোনিয়ার সংশ্লেষণে, বনস্পতি তৈরীর কাজে অতি বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন প্রয়োজন হয়।

বিক্রিয়া :—

(ক) $H_2SO_4 \rightleftarrows 2H^+ + SO_4^{--}$

ক্যাথোডে : $H^+ + e^- = H$; $H + H = H_2$

অ্যানোডে : $SO_4^{--} \longrightarrow SO_4 + 2e^-$; $2SO_4 + 2H_2O = H_2SO_4 + O_2$

(খ) $KOH \leftrightarrows K^+ + OH^-$

ক্যাথোডে : $K^+ + e^- = K$; $2K + 2H_2O = 2KOH + H_2$

অ্যানোডে : $OH^- = OH + e^-$; $4OH = 2H_2O + O_2$

6.2b **ওয়াটারগ্যাস পদ্ধতি :** 1000°C তাপে লাল তপ্ত কোকের উপর জলীয় বাষ্প চালিত করলে সমায়তনিক পরিমাণে হাইড্রোজেন ও কার্বন মনোক্সাইড ও সামান্য কার্বন-ডাই-অক্সাইড তৈরী হয়।

বশ পদ্ধতিতে অতিরিক্ত মাত্রায় জলীয় বাষ্প মিশ্রিত ওয়াটার গ্যাস 450° তাপ-মাত্রায় অনুঘটকের উপর দিয়ে চালিত করা হয় ; এই অনুঘটকের মধ্যে থাকে ফেরিক ও ক্রোমিক অক্সাইড। কার্বন মনোক্সাইডের প্রায় সবটাই জারিত হয়ে ডাই-অক্সাইড হয় ও জলীয় বাষ্প থেকে উত্তরোত্তর বেশী পরিমাণে ডাইঅক্সাইড তৈরী হতে থাকে।

$$CO + H_2O \leftrightarrows CO_2 + H_2$$

উল্লিখিত বিক্রিয়াটি উভমুখী বলে সামান্য কিছু কার্বন মনোক্সাইড থেকেই যায়। এভাবে প্রাপ্ত হাইড্রোজেনকে বিশুদ্ধ করতে হলে প্রথমে 30 অ্যাটমসফিয়ার চাপে জল দিয়ে ধুয়ে কার্বন ডাই অক্সাইড দূর করা হয় এবং অবশিষ্ট কার্বন মনোক্সাইড 200 অ্যাটমসফিয়ার চাপে অ্যামোনিয়াযুক্ত কিউপ্রাস ফরমেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্রেরণ করে দূর করা হয়। পরে গ্যাসের জলীয় অংশ অপসারিত করা হয়। শুষ্ক হলে এই হাইড্রোজেন 99.9% বিশুদ্ধ।

কার্বন মনোক্সাইড আর একভাবেও দূর করা সম্ভব। চাপ প্রয়োগ করে তীব্র ভাবে শীতল করলে কার্বন মনোক্সাইড (স্ফুটনাংক −19.5°) তরল হয়ে যায়, কিন্তু ঐ অবস্থায় হাইড্রোজেন গ্যাসই থাকে ; কাজেই একে পাম্পের দ্বারা সহজেই পৃথক করা যায়।

6.2c **স্টীম-আয়রন পদ্ধতি :** লাল-তপ্ত লোহার উপর দিয়ে জলীয় বাষ্প প্রেরণ করলে নীচের বিক্রিয়ানুসারে হাইড্রোজেন তৈরী হয়।

$$3Fe + 4H_2O \rightleftarrows Fe_3O_4 + 4H_2 \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

উল্লিখিত তাপ-বিকীরক বিক্রিয়াটি উভমুখী বলে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে প্রাপ্ত হাইড্রোজেনের পরিমাণ কমতে থাকে।

তাপাংক	200°	444°	৪60°	918°
H_2/H_2O (আয়তনিক অনুপাত)	20 9	5.6	2.78	2.00

লেন পদ্ধতিতে ফেরাস কার্বনেটকে বিজারণ করে পাওয়া লোহার চূর্ণ উল্লম্ব লৌহ রিটর্টের মধ্যে 660—800°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়। তার মধ্য দিয়ে জলীয় বাষ্প বা ওয়াটার গ্যাস প্রবাহিত করলে লাল তপ্ত আয়রন বাষ্পকে বিযোজিত করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে ও নিজে ফেরাসোফেরিক অক্সাইডে পরিণত হয় (পূর্ব-বিক্রিয়া···1)। সমস্ত আয়রন জারিত হয়ে গেলে জলীয় বাষ্প প্রেরণ বন্ধ করে দেওয়া হয় এবং পরিবর্তে ওয়াটার গ্যাস চালনা করা হয়। ওয়াটার গ্যাসস্থিত হাইড্রোজেন, অক্সাইডকে বিজারিত করে আবার ধাতব আয়রন পুনরুদ্ধার করে।

$$\left.\begin{array}{l} Fe_3O_4+4CO \rightleftharpoons 3Fe+4CO_2 \\ Fe_3O_4+4H_2 \rightleftharpoons 3Fe+4H_2O \end{array}\right\} \cdots\cdots(2)$$

(1) ও (2)-এর বিক্রিয়াগুলি পরপর সংঘটিত করান হয়। প্রথম পর্যায়ে বিক্রিয়ার জন্য [যাকে gassing বা oxidation period, অর্থাৎ জারণ পর্যায় বলা যেতে পারে] 10 মিনিট ও দ্বিতীয় পর্যায়ের বিজারণের জন্য প্রথমের দ্বিগুণ সময় ধার্য করা হয়। উভয় বিক্রিয়াই 1000°C তাপমাত্রায় করা হয়। পদ্ধতিটিকে অবিরাম করার জন্য সাধারণতঃ দুই বা তার বেশী ফার্নেস পর্যায়ক্রমে ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

6.2d. অন্যান্য পদ্ধতি : 1. সামরিক উদ্দেশ্যে ব্যবহারের জন্য সাধারণত হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা হয় (i) হাইড্রোলিথ বা ক্যালসিয়াম হাইড্রাইডের সাথে জলের বিক্রিয়া ঘটিয়ে। (ii) সিলিকন পদ্ধতিতে—চূর্ণ সিলিকন বা 89% সিলিকন সমন্বিত ফেরোসিলিকনের সাথে 25% কস্টিক সোডার বিক্রিয়া ঘটিয়ে অথবা, হাইড্রোজেনাইট নামে সিলিকন কস্টিকসোডা আর কলিচুনের মিশ্রণকে পুড়িয়ে প্রাপ্ত দ্রব্যের সাথে জলের বিক্রিয়ায়।

$$Si+2NaOH+H_2O=Na_2SiO_3+2H_2$$

2. এছাড়া স্টার্চ বা শ্বেতসার জাতীয় পদার্থ থেকে সন্ধিত [সন্ধান = fermentition] করে বিউটানল প্রস্তুতির কালে বা অ্যামোনিয়াকে উচ্চচাপে বিযোজিত করলেও হাইড্রোজেন পাওয়া যায়।

6.3. ভৌত ধর্ম : 1. হাইড্রোজেন একটি স্বাদহীন, গন্ধহীন, বর্ণহীন গ্যাস। জলে প্রায় অদ্রবণীয়। সমস্ত পদার্থের মধ্যে লঘুতম এই পদার্থ বায়ু অপেক্ষা 14.4 গুণ হাল্কা।

2. সন্ধি তাপাংকের মান (−234°C) খুব কম থাকার জন্য হাইড্রোজেনকে তরল বা কঠিন করা খুবই আয়াসসাধ্য। তবুও হাইড্রোজেনকে উপযুক্ত চাপে ও নিম্ন তাপমাত্রায় এক স্বচ্ছ বর্ণহীন তরলে পরিণত করা সম্ভব হয়েছে। এই তরলের ঘনত্ব অতি অল্প—গলনাংকে মাত্র 0·071। এই তরল হাইড্রোজেনকে হ্রস্ব-চাপে বাষ্পায়িত করলে তরল হাইড্রোজেন বর্ণহীন কঠিন কেলাসে পরিণত হয়। তরল বা কঠিন—কোন অবস্থায়ই হাইড্রোজেনের ধাতু-ধর্ম নেই।

3. হাইড্রোজেন অনু দ্বি-পারমানবিক ; উচ্চতাপমাত্রায় প্রচুর পরিমাণে (গ্রাম অণুপ্রতি প্রায় 103 কিলো ক্যালোরি) তাপ গ্রহণ করে অণু বিয়োজিত হয়ে পরমাণুতে পরিণত হয়। $H_2 \rightleftarrows 2H$

4. সকল গ্যাসের মধ্যে তাপের সর্বাপেক্ষা সুপরিবাহী, (বায়ু অপেক্ষা পাঁচগুণ বেশি তাপ-পরিবাহী)।

5. অতিনিম্নমানের আণবিক গুরুত্বের জন্য কর্ক বা রবারের ন্যায় প্রায়-সছিদ্র বস্তুর মধ্য দিয়ে দ্রুত ব্যাপিত হতে পারে।

6. হাইড্রোজেনের এক বিশেষত্ব হল কতকগুলি ধাতুর সঙ্গে কঠিন দ্রবণ (solid solution) তৈরী করা। লোহা, কোবাল্ট, নিকেল এবং বিশেষ করে প্যালাডিয়াম স্বাভাবিক তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন শোষণ করতে পারে। এদের মধ্যে প্যালাডিয়াম স্বাভাবিক তাপমাত্রায় নিজের আয়তনের প্রায় 900 গুণ হাইড্রোজেন ধারণ করতে পারে। ধাতুর গ্যাস ধারণের এই ঘটনাকে গ্যাসের **অন্তর্ধৃতি** বা occlusion বলে। অন্তর্ধৃত অবস্থায় ধাতুকে উত্তাপ দিলেই আবার হাইড্রোজেন মুক্ত হয়ে বেরিয়ে আসে। এই পদ্ধতি হাইড্রোজেন বিশুদ্ধ করার এক উৎকৃষ্ট উপায়।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ

1. হাইড্রোজেন দহনের সহায়ক না হলেও নিজে দহনশীল। বায়ুতে বা অক্সিজেনে হাইড্রোজেন ক্ষীণ নীল শিখাসহ জ্বলে এবং জল উৎপন্ন করে। হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের মিশ্রণকে প্রজ্জলিত (ignite) করলে সশব্দে বিস্ফোরিত হয়।

2 অক্সিজেনের প্রতি তীব্র আসক্তি থাকার জন্য হাইড্রোজেন বিজারক হিসাবে কাজ করে। কপার, মার্কারি বা লেডের ন্যায় মৃদু ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুর অক্সাইড-গুলিকে হাইড্রোজেন প্রবাহে উত্তপ্ত করলে তারা ধাতুতে পরিণত হয়।

$$CuO+H_2=Cu+H_2O \qquad PbO+H_2=Pb+H_2O$$

কিন্তু সোডিয়াম, পটাশিয়াম, ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়ামের মত উচ্চতর ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুগুলির অক্সাইড হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত হয় না।

3. হাইড্রোজেন উচ্চ ইলেকট্রোপজিটিভ ক্ষার ও ক্ষারীয়-মৃত্তিকা ধাতুগুলির সাথে সংযুক্ত হয়ে লবণ-সদৃশ (salt-like) হাইড্রাইড প্রস্তুত করে। এই সব হাইড্রাইডগুলি আবার জলে বিযোজিত হয়ে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে।

$$2Li+H_2=2LiH$$
$$Ca+H_2=CaH_2$$
$$CaH_2+H_2O=Ca(OH)_2+2H_2$$

পক্ষান্তরে সব অধাতুগুলি ও মৃদু ইলেকট্রোপজিটিভ চরিত্রসম্পন্ন ধাতুগুলি হাইড্রোজেনের সাথে যুক্ত হয়ে গ্যাসীয় বা উদ্বায়ী হাইড্রাইড তৈরী করে। এর-উদাহরণ হল—HCl, SnH_4, BiH_3, SbH_3, SiH_4 ইত্যাদি।

6.4 ব্যবহার : শিল্পে হাইড্রোজেন ব্যবহৃত হয়—

1. অ্যামোনিয়া, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও মিথানল উৎপাদনে।

2. পেট্রোলিয়ামের বিভিন্ন অংশকে হাইড্রোজেনায়িত বা হাইড্রোজেন যুক্ত (Hydrogenation) করার জন্য, কয়লা থেকে সংশ্লেষিত পেট্রোল উৎপাদনের জন্য।

3. বিভিন্ন প্রাণিজ ও উদ্ভিজ্জ তেলকে হাইড্রোজেনযুক্ত করে কঠিন করার জন্য (যেমন বনস্পতি প্রস্তুতিতে)। বাদাম তেলকে হাইড্রোজেনের সঙ্গে অত্যন্ত সূক্ষ্ম নিকেল কনার সহযোগে (যা এই বিক্রিয়ায় অনুঘটকের কাজ করে) উত্তপ্ত করলে কঠিন 'বনস্পতি' পাওয়া যায়। ঘি-এর পরিবর্তে বর্তমানে এই বনস্পতি বহুল পরিমাণে ব্যবহার করা হয়।

4. অক্সি-হাইড্রোজেন শিখা সৃষ্টির জন্য—এই শিখা প্রায় 2800° তাপমাত্রা উৎপাদন করতে পারে ও ওয়েলডিং-এর কাজে ব্যবহার করা হয়। এরূপ ওয়েলডিং-এর জন্য কোন রাং বা ঝালাই-এর প্রয়োজন হয় না।

6.5a জায়মান হাইড্রোজেন : রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে সদ্য উৎপাদিত বা সদ্যজাত হাইড্রোজেনকে জায়মান হাইড্রোজেন বলা হয়। সাধারণ হাইড্রোজেন অপেক্ষা জায়মান হাইড্রোজেন অনেক বেশী ক্রিয়াশীল ও অনেক বেশী বিজারণ ক্ষমতাসম্পন্ন। নিচে বর্ণিত পরীক্ষাগুলি এর প্রমাণ।

(i) ফেরিক ক্লোরাইডের হলুদ দ্রবণের মধ্যে জিংক ও সালফিউরিক অ্যাসিড যোগ করলে জিংক ও অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন হলুদ দ্রবণকে বিজারিত করে বর্ণহীন করে ফেলে ; কিন্তু ফেরিক ক্লোরাইডের হলুদ দ্রবণের মধ্যে হাইড্রোজেন গ্যাস চালিত করলে কোনো বর্ণান্তর ঘটে না।

$$FeCl_3 + H\ (\text{জায়মান}) = FeCl_2 + HCl$$

(ii) পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের দ্রবণে জিংক ও সালফিউরিক অ্যাসিড যোগ করলে যে জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয় তা পারম্যাঙ্গানেটের বেগ্‌নী দ্রবণকে বর্ণহীন করে, কিন্তু দ্রবণে শুধু হাইড্রোজেন গ্যাস চালিত করলে (Zn ও সালফিউরিক অ্যাসিড না দিয়ে) রঙের পরিবর্তন ঘটে না।

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 10H(\text{জায়মান}) = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$$

জায়মান হাইড্রোজেনের অধিকতর ক্রিয়াশীলতার বিভিন্ন ব্যাখ্যা দেওয়া হয়েছে। এগুলি হল (i) জায়মান হাইড্রোজেন পরমাণু অবস্থায় থাকে এবং পারমাণবিক অবস্থা সর্বদাই আণবিক অবস্থার চেয়ে বেশি সক্রিয় হয়। এর প্রমাণস্বরূপ ল্যাংমুর দেখান যে পারমাণবিক হাইড্রোজেন অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড গঠন করতে পারে।

$$H + O_2 + H = HO-OH$$

(ii) জায়মান হাইড্রোজেন অতি ক্ষুদ্র বুদ্‌বুদ্‌ আকারে প্রচণ্ড চাপে নির্গত হয়। এই প্রচণ্ড চাপই এর অধিকতর ক্রিয়াশীলতার কারণ। এর স্বপক্ষে যুক্তি হল 100 থেকে 200 অ্যাটমসফিয়ার চাপে হাইড্রোজেন কোন ধাতব লবণের দ্রবণ থেকে ধাতুকে অধঃক্ষিপ্ত করতে পারে। ধাতুর মহার্ঘতা (nobility) বাড়ার সাথে সাথে এই বিক্রিয়া সহজতর হয়। যেমন প্রচণ্ড চাপে প্রবাহিত হাইড্রোজেন সিলভার নাইট্রেট দ্রবণকে বিজারিত করে ধাতব সিলভার মুক্ত করে।

(iii) জায়মান হাইড্রোজেনের অধিকতর ক্রিয়া ক্ষমতা আসে বিক্রিয়ার ফলে উদ্ভূত শক্তি থেকে। এই ব্যাখ্যা বা প্রকল্প মেনে নিলে বিভিন্ন ক্ষেত্রে উদ্ভূত জায়মান হাইড্রোজেনের ক্রিয়াশীলতার পার্থক্যের একটা কারণ আমরা নির্দেশ করতে পারি। যেহেতু রাসায়নিক পরিবর্তনে বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন পরিমাণ শক্তির নির্মুক্তি ঘটে তাই বিভিন্ন ক্ষেত্রে উদ্ভূত জায়মান হাইড্রোজেনের শক্তিও বিভিন্ন হবে। উদাহরণ-স্বরূপ বলা যেতে পারে জিংক বা সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে জাত হাইড্রোজেন পটাশিয়াম ক্লোরেটকে বিজারিত করতে পারে কিন্তু সোডিয়াম অ্যামালগাম ও জলের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন তা পারে না।

6.5b. পারমাণবিক হাইড্রোজেন: হাইড্রোজেন অণু প্রভূত পরিমাণে (গ্রাম অণুপ্রতি প্রায় 104.2 কিলোক্যালোরি) শক্তি আত্মসাৎ করে পরমাণুতে বিয়োজিত হয়। উচ্চ উষ্ণতায় $H_2 \rightleftharpoons H + H$ ধরণের বিয়োজন ঘটে। আণবিক হাইড্রোজেনকে তাপবিয়োজন করে নিচে বর্ণিত উপায়ে পারমাণবিক হাইড্রোজেন প্রস্তুতি সম্ভব।

1. বৈদ্যুতিক উপায়ে 1000-2000°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত টাংস্টেন বা প্ল্যাটিনাম তারের উপর 0.01 মি.মি-র কম চাপে হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করে।

2. হাইড্রোজেন অণুকে শ্লথগতি নিউট্রন দিয়ে আঘাত (bombard) করে।

3. 0.5 অ্যাটমসফিয়ার চাপে স্থিত হাইড্রোজেনের সাথে মার্কারি বাষ্প মিশ্রিত করে মিশ্রণের উপর অনুনাদ বিকিরণ [resonance radiation] (তরঙ্গ দৈর্ঘ 2537°A) প্রয়োগ করে। মার্কারি পরমাণু বিকিরণ শোষণ করে নেয় এবং সংঘর্ষের ফলে জাত হাইড্রোজেন অণুকে বিযোজিত করে।

4. একটি লম্বা টিউবে 1 মি.মি. চাপে স্থিত হাইড্রোজেন গ্যাসের মধ্যে তড়িত মোক্ষণ প্রেরণ করে। প্রেরিত তড়িত মোক্ষণের শক্তি অণুকে বিচ্ছিন্ন করার পক্ষে যথেষ্ট। এই পদ্ধতি পারমাণবিক হাইড্রোজেন পাবার একটি প্রকৃষ্ট উপায়। তাপ-মাত্রা ও চাপের পরিবর্তনের সাথে বিযোজনের পরিমাণ (শতকরা আয়তনে প্রকাশিত) নিচে দেওয়া হল।

তাপ °C	1700	2200	3200	3700
চাপ 760 মি.মি.	0.33	3.1	34.0	61.0
1 মি.মি.	8.70	57.5	99.3	99.9

অণু থেকে একবার বিয়োজিত হলে নিম্ন চাপে হাইড্রোজেন পরমাণুগুলি আর পুনর্মিলিত হতে পারে না। এর কারণ পুনর্মিলনের ফলে উদ্ভূত তাপ আবার তাদের বিয়োজিত করে ফেলে।

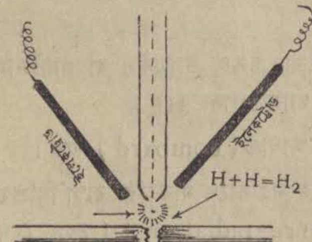
ধর্ম ঃ

(i) **স্থায়িত্ব ঃ** পারমাণবিক হাইড্রোজেনের অর্ধ-জীবন 0 9 মি.মি. চাপে প্রায় 1 সেকেণ্ড। কিন্তু বিশেষ ব্যবস্থায় এর স্থায়িত্বের সময় 10 সেকেণ্ড পর্যন্ত বাড়ান যায়।

(ii) **পুনর্মিলন ঃ** পারমাণবিক হাইড্রোজেন নিম্নচাপমাত্রায় পরস্পর দ্রুত মিলিত না হলেও তৃতীয় কোন বস্তুর (যেমন বিক্রিয়া আধারের দেওয়াল) সংস্পর্শে সংঘর্ষ ঘটলে তারা পরস্পর মিলিত হতে পারে। নিস্ক্রিয় গ্যাসের উপস্থিতিতে বা উচ্চচাপে এই সংঘর্ষ সফল ও সহজতর হয়। পক্ষান্তরে নিম্নচাপে এই সংঘর্ষের সম্ভাব্যতা কমে যায়। এই পুনর্মিলনের ক্ষেত্রে কতকগুলি ধাতুও অনুঘটকের কাজ করে। যে সব ধাতুর ওভারভোল্টেজ বেশী অনুঘটক হিসাবে তারা তত কম উপযুক্ত। ক্রমবর্দ্ধমান অনুঘটন শক্তি অনুসারে ধাতুগুলিকে সাজালে আমরা পাব

$$Hg < Pb < Cu < Ag < Cr < Fe < W < Pd < Pt.$$

পুনর্মিলনের এই ধর্মের সুযোগ নিয়ে পারমাণবিক হাইড্রোজেন ওয়েলডিং টর্চ তৈরী করা হয়েছে। এতে দুই টাংস্টেন ইলেকট্রোডের মধ্যে একটি বৈদ্যুতিক আর্কের সৃষ্টি করে পারমাণবিক হাইড্রোজেন প্রস্তুত করা হয়। এই বৈদ্যুতিক আর্ক থেকে আণবিক হাইড্রোজেনের প্রবাহ দ্বারা পারমাণবিক হাইড্রোজনকে উড়িয়ে আর্কের স্থল থেকে অপসারিত করা হয় এবং এর ফলে পারমাণবিক হাইড্রোজেন যুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন গঠন করে। অণুগঠনে পুনর্মিলন জনিত তাপ ও হাইড্রোজেনের দহনজনিত তাপ উজ্জ্বল শিখার সৃষ্টি করে। এর ফলে 4000 থেকে 5000°C তাপমাত্রা সৃষ্টি হয়।



চিত্র নং ৮

(iii) **বিজারণ ঃ** যে সব যৌগ আণবিক হাইড্রোজেন প্রবাহে একমাত্র তাপের সহায়তায় বিজারণ করতে পারে, পারমাণবিক হাইড্রোজেন কিন্তু সে সব ক্ষেত্রে স্বাভাবিক তাপেই সেইসব বিক্রিয়া সম্পাদন করতে সক্ষম। এর উদাহরণ পারমাণবিক হাইড্রোজেন দ্বারা মার্কারি, কপার, সিলভার, বিসমাথ ও লেডের অক্সাইড, ক্লোরাইড ও সালফাইডের বিজারণের ফলে উল্লিখিত ধাতুর উৎপত্তি।

(iv) **অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া:** পারমাণবিক হাইড্রোজেন আণবিক অক্সিজেনের সাথে হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড সৃষ্টি করে।

(v) **হাইড্রাইড গঠন:** আণবিক হাইড্রোজেন ফসফরাস, আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি এবং সালফারের সাথে তাদের হাইড্রাইড গঠন করে এবং ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনকে তাদের হাইড্রাসিডে পরিণত করে। কিন্তু নাইট্রোজেনের সাথে এর কোনো বিক্রিয়া ঘটে না। লিথিয়াম, সোডিয়াম ও পটাশিয়ামের সাথেও হাইড্রাইড গঠিত হয়।

(vi) **জৈব যৌগের সাথে বিক্রিয়া:** অসম্পৃক্ত জৈব যৌগকে পারমাণবিক হাইড্রোজেন সম্পৃক্ত করে।

66 **পর্যায়-সারণীতে হাইড্রোজেনের স্থান:** সকল মৌলের মধ্যে সবচেয়ে হাল্কা হবার জন্য এবং পরমাণু-ক্রমাংক ও পারমাণবিক ওজন যথাক্রমে 1 ও 1.008 হবার জন্য যুক্তিসঙ্গত ভাবেই পর্যায়-সরণীতে হাইড্রোজেনের স্থান সর্বপ্রথম। কিন্তু প্রথম গ্রুপের (Group I) অন্তর্গত ক্ষারীয় ধাতু ও সপ্তম গ্রুপের হ্যালোজেন মৌল উভয়ের সাথেই সাদৃশ্য থাকায় হাইড্রোজেনকে উভয় স্থানের যে কোনোটিতে সন্নিবিষ্ট করার কথা বলা হয়েছে। হ্যালোজেন ও ক্ষারীয় ধাতুর সাথে হাইড্রোজেনের ধর্মের মুখ্য সাদৃশ্যগুলি নিচে দেওয়া হল।

ক্ষারীয় ধাতু	**হাইড্রোজেন**	**হ্যালোজেন**
1. স্বাভাবিক অবস্থায় কঠিন, বাষ্পীয় অবস্থায় এক পরমাণুবিশিষ্ট অণু।	1. দ্বি-পারমাণবিক অণুবিশিষ্ট গ্যাস।	1. গ্যাস, তরল বা উদ্বায়ী কঠিন পদার্থ। বাষ্পাবস্থায় দ্বি-পারমাণবিক থাকে।
2. ধাতু।	2. অধাতু।	2. অধাতু।
3. অন্য ধাতুর সহযোগে সংকর ধাতু গঠন করে।	3. ধাতুর সাথে লবণ-সদৃশ হাইড্রাইড গঠন করে। যেমন LiH CaH_2 ইত্যাদি।	3. ধাতুর সঙ্গে লবণ গঠন করে। যেমন NaCl.
4. ধাতব অক্সাইডগুলি স্থায়ী। যেমন, Na_2O	4. স্থায়ী অক্সাইড গঠন করে। যেমন H_2O.	4 অস্থায়ী অক্সাইড গঠন করে। যেমন Cl_2O_7.
5. বিজারক।	5. বিজারক।	5. জারক।

ক্ষারীয় ধাতু	নাইট্রোজেন	হ্যালোজেন
6. চরিত্রে দৃঢ় রূপে ইলেকট্রোপজিটিভ এবং স্থায়ী ক্যাটায়ন গঠন করে যেমন Na^+, K^+ ইত্যাদি।	6. চরিত্রে (i) ক্ষীণ ইলেকট্রোপ-জিটিভ H^+ আয়ন কেবলমাত্র ভ্যাকুয়ামেই সম্ভব। (ii) ক্ষীণ ইলেকট্রো-নেগেটিভ যেমন Li^+H^- এ H^-আয়নথাকে।	6. চরিত্রে সুনিশ্চিতভাবে ইলেকট্রোনেগেটিভ,স্থায়ী অ্যানায়ন গঠন করে। যেমন। F^-, Cl^- ইত্যাদি।

এছাড়াও

7. হাইড্রোজেন হাইড্রোকার্বন যৌগ গঠন করে ; যাদের থেকে হ্যালোজেনের দ্বারা যৌগস্থিত হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করা যায় এবং এই পরিবর্তনে পরমাণুর যোজক-চরিত্রের কোন পরিবর্তন হয় না। (Bond type)।

8. অণুকে বিযোজিত করে পরমাণুতে পরিণত করবার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি ধারাবাহিকভাবে H_2, Cl_2, Br_2, F_2, I_2 এই ক্রমানুসারে হ্রাস পায়।

9. হ্যালোজেনের সাথে হাইড্রোজেনের আর এক সাদৃশ্য এই যে হাইড্রোজেন পরমাণু একটি নেগেটিভ চার্জ গ্রহণ করতে পারে এবং এর ইলেকট্রনীয় প্রবণতা ধনাত্মক (positive electron affinity) অর্থাৎ তড়িৎ-নিরপেক্ষ হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন যুক্ত হলে শক্তির মুক্তি ঘটে।

10. কিন্তু অ্যাসিড-মিশ্রিত জলের তড়িতবিশ্লেষণ করলে, ক্যাথোডে হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয় এবং এই ঘটনা স্পষ্টই প্রমাণ করে যে হাইড্রোজেন ক্ষারীয় ধাতুর মত ইলেকট্রোপজিটিভ।

', 2, 3, 6, 7, 8 এবং 9 সংখ্যক যুক্তিগুলির থেকে প্রতীত হয় যে হাইড্রোজেন একটি একযোজী মৌল এবং একে হ্যালোজেনের সাথে সপ্তম শ্রেণীভুক্ত করাই শ্রেয়। সেক্ষেত্রে প্রথম পর্যায়ে অন্য অজ্ঞাত মৌল (যাদের পারমাণবিক ওজন একের কম) থাকা বিশেষ সমীচীন। আবার 4, 5, 10 সংখ্যক যুক্তিগুলি বিচার করলে এবং এর সাথে হাইড্রোজেন যে প্যালাডিয়ামের সাথে কঠিন দ্রবণ গঠন করে—এই ঘটনা ধরলে একে ক্ষারীয় ধাতুর সাথে প্রথম শ্রেণীভুক্ত করা ছাড়া উপায় থাকে না—সেক্ষেত্রে আবার 1 ও 4 এই দুই পরমাণুক্রমাংক বিশিষ্ট মৌলদ্বয়ের মাঝে দুটি শূন্যস্থান থেকে যায়।

যদিও হাইড্রোজেনের এক যোজ্যতা এবং আপাতদৃষ্টিতে প্রবল ইলেকট্রো-পজিটিভ চরিত্রবৈশিষ্ট্য (যা এর বিজারণকারী ক্ষমতা থেকে স্পষ্ট) হাইড্রোজেন ও ক্ষারীয় ধাতুর মধ্যে একটা সম্পর্কের আভাস দেয়, কিন্তু প্রকৃতপক্ষে এদের মধ্যে ধর্ম ও প্রকৃতিগত সাদৃশ্য খুবই কম। হাইড্রোজেন ধাতু নয়, একটা

অধাতু এবং এর নেগেটিভ চার্জ সমন্বিত হবার ক্ষমতা স্পষ্টতঃই ক্ষারীয় ধাতুর ধর্ম বিরোধী। এমন কি ইলেকট্রোপজিটিভ চরিত্রের বিচারেও হাইড্রোজেন ও ক্ষারীয় ধাতুর মধ্যে প্রভেদ আছে। সর্বাপেক্ষা ইলেকট্রোপজিটিভ মৌলগোষ্ঠী হবার জন্য ক্ষারীয় ধাতুগুলির আয়নন বিভবের মান সবচেয়ে কম এবং এরা তড়িত রাসায়নিক পর্যায়ে এক প্রান্তে অবস্থিত। এদের তুলনায় তড়িত রাসায়নিক পর্যায়ে হাইড্রোজেন খানিকটা অপর প্রান্তের দিকেই অবস্থিত। এবং এর আয়নন বিভবের মান কতকগুলি মহার্ঘ ধাতুর চেয়েও বেশী। তড়িতরাসায়নিক পর্যায়ে এই সব ধাতুগুলির উর্ধে হাইড্রোজেনের অবস্থান তার হাইড্রেশন শক্তির অত্যাধিক মানের জন্য। হাইড্রোজেনের অ-সোদকায়িত (Unhydrated) পজিটিভ আয়নের ক্ষুদ্রতম ব্যাসার্দ্ধ ক্ষারীয় ধাতুর পজিটিভ আয়নের ব্যাসার্দ্ধ থেকে ভিন্ন রূপের। কিন্তু ক্ষারীয় ধাতুর ক্যাটায়নের ব্যাসার্দ্ধ সকল মৌলের ক্যাটায়ন-ব্যাসার্দ্ধের চেয়ে তুলনামূলক ভাবে বেশী।

হাইড্রোজেনের চরিত্রের এই দ্বৈতরূপের একটা ব্যাখ্যা তার গঠন থেকে দেওয়া সম্ভব। হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রন আছে। যদি কোনো কারণে ইলেকট্রনটি অপসারিত হয়, তবে অবশিষ্ট থাকে কেবলমাত্র অতিক্ষুদ্র কেন্দ্রীন—একটি প্রোটন। এর ফলে পরমাণুর পজিটিভ আয়নের আয়তনের আকস্মিক হ্রাসপ্রাপ্তি ঘটে। এই দিক থেকে হাইড্রোজেন অন্য যে কোনো মৌল থেকে একেবারেই স্বতন্ত্র। অন্যান্য পরমাণুর ক্ষেত্রে বহিঃস্থ কক্ষের যোজনীয় ইলেকট্রনগুলি অপসারিত হয়ে গেলে পরমাণুর অবশিষ্টাংশের ব্যাস হয় 0.2 থেকে 3.3A° এর মধ্যে। কিন্তু হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসের ব্যাস হল 0.00001A°. অতিক্ষুদ্র হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস যখন কোনো নেগেটিভ চার্জ যুক্ত পরমাণুর সাথে যুক্ত হয় তখন যে শক্তি নিঃসারিত হয়, তার পরিমাণ অনেক। জলের দ্রবণে জলের অণুর সাথে প্রোটন যুক্ত হয়ে হাইড্রোনিয়াম $[H_3O]^+$ আয়ন গঠনের ক্ষেত্রে প্রচুর শক্তি নির্গত হবার কারণও একই। এই কারণেই আয়নন বিভবের মান বেশী হওয়া সত্ত্বেও হাইড্রোজেন তুলনামূলকভাবে অন্যান্য অনেকের চেয়ে বেশী ইলেকট্রো-পজিটিভ। হাইড্রোজেনের কো-ভ্যালেন্ট (অর্থাৎ সমযোজী) এবং উদ্বায়ী যৌগ গঠনে বিশেষ প্রবণতা আছে। এই সব যৌগের উদ্বায়ী ধর্ম তারা যে বিক্রিয়ার অন্তর্গত সেই বিক্রিয়ার বিক্রিয়া সাম্যকে সরিয়ে (shifted) দেয়, ফলে এদের তৈরী হবার মত অনুকূল অবস্থার সৃষ্টি হয়। এর ফলে হাইড্রোজেনে এক প্রবল বিজারণ ক্ষমতা দেখা যায়।

উপরের আলোচনা থেকে এই সিদ্ধান্তেই পৌছান যায় যে সকল মৌলের মধ্যে হাইড্রোজেন একক ও অদ্বিতীয়। এর কোনো জুড়ি নেই এবং কোনো মৌল গোষ্ঠীর সাথেই একে সংস্থাপিত করা যাবে না। পর্যায় সরণীতে একে পৃথক স্থানে (শীর্ষে) একাকী রাখাই যুক্তিযুক্ত।

6.7a হাইড্রোজেনের বহুরূপতা (Allotropy of hydrogen)

[যে ধর্মের জন্য কোন মৌল একই তাপমাত্রায় একাধিক রূপে আত্মপ্রকাশ করতে পারে তাকে বহুরূপতা বা অ্যালোট্রপী বলে। এবং মৌলের বিভিন্ন রূপকে রূপভেদ (অ্যালোট্রপ) বলে। একই পদার্থের এই বিভিন্ন রূপভেদ হয় যদি

(ক) পদার্থের অণুতে পরমাণু সংখ্যার অর্থাৎ অ্যাটমিসিটির (atomicity) তারতম্য ঘটে। যেমন অক্সিজেন O_2 কিন্তু ওজোন O_3.

(খ) অণুতে পরমাণু বিন্যাসের পার্থক্য থাকে। যেমন হীরক ও গ্রাফাইট। হীরকে কার্বন পরমাণুর বিন্যাস চতুস্তলকীয় (tetrahedral) কিন্তু গ্রাফাইটে কার্বন পরমাণুর বিন্যাস ষড়ভূজাকৃতি (hexagonal)।

(গ) অণুর মধ্যে পারস্পরিক আভ্যন্তরীণ শক্তির (Internal energy) পার্থক্য। সব রূপভেদের মূল কারণই এই আভ্যন্তরীণ শক্তির পার্থক্য। উদাহরণ স্বরূপ বলা যেতে পারে অর্থো-ও প্যারা-হাইড্রোজেন।]

দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু সমন্বিত হাইড্রোজেন অণুর প্রত্যেকটি পরমাণুর একটি ক'রে প্রোটন ও একটি ইলেকট্রন থাকে। হুণ্ট্ ও হাইজেনবোর্গ (Hund and Heisenberg) প্রথম এই ধারণা করেন যে হাইড্রোজেন অণুর উভয় প্রোটনের নিজেদের প্রত্যেকেই পৃথিবীর আপন অক্ষের চারদিকের মত নিজেদের অক্ষের চারিদিকে একটা ঘূর্নন বা আবর্তনগতি আছে—যা পরস্পর বিরোধী দিকে বা একই দিকে হতে পারে। এর ফলে দু' ধরণের হাইড্রোজেন অণুর অস্তিত্ব সম্ভব।

1. যে ক্ষেত্রে উভয় হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস একই দিকে ঘূর্ণায়মান, অথবা অর্থো।

2. হাইড্রোজেন যে ক্ষেত্রে উভয় হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস পরস্পরের বিপরীত দিকে ঘুর্ণায়মান, অর্থাৎ প্যারা-হাইড্রোজেন।

এই অভিমত 1929 খৃষ্টাব্দে প্রমাণিত হয় যখন বনহোয়েফার ও হারটেক প্রথম বিশুদ্ধ প্যারা-হাইড্রোজেন তৈরী করেন।

6.7b. প্যারা-হাইড্রোজেন প্রস্তুত প্রণালী

বনহোয়েফার এবং হারটেক (Bonhœffer and Harteck) সাধারণ হাইড্রোজেন গ্যাসকে 20°K (অ্যাবসলিউট্) তাপাংকে স্থিত সক্রিয় উড্ চারকোলের মধ্য দিয়ে প্রেরণ করেন। তারপর পাম্পের সাহায্যে উক্ত গ্যাসকে বার করে এনে দেখলেন নিঃসারিত গ্যাসে 99.7 শতাংশ প্যারা হাইড্রোজেন পাওয়া যাচ্ছে। একে কাচের পাত্রে প্রায় সাতদিন অবিকৃতভাবে রাখা যায়; এবং এতে কোনরকম রূপান্তর ঘটে না।

উল্লিখিত উপায়ে প্রাপ্ত প্যারা হাইড্রোজেন থেকে আবার 25 শতাংশ প্যারা ও 75% অর্থো-হাইড্রোজেনের সাম্যমিশ্রণ (Equilibrium mixture) ফিরে পাবার উপায়গুলি হচ্ছে

1. ওই হাইড্রোজেনকে 800° বা তার বেশী তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা ; প্ল্যাটিনাম বা লোহার মত অনুঘটকের উপস্থিতি পরিবর্তনকে ত্বরান্বিত করে।

2. পারমাণবিক হাইড্রোজেনের সাথে মিশ্রণ : পারমাণবিক হাইড্রোজেনের সাথে বিনিময়-বিক্রিয়া (exchange reaction) ঘটে।

$$\underset{\substack{\uparrow \\ \text{পারমাণবিক} \\ \text{হাইড্রোজেন}}}{H} + \underset{\substack{\uparrow\downarrow \\ \text{প্যারা-} \\ \text{হাইড্রোজেন}}}{H_2} = \underset{\substack{\uparrow\uparrow \\ \text{অর্থো-} \\ \text{হাইড্রোজেন}}}{H_2} + \underset{\downarrow}{H}$$

(তীর চিহ্ন ঘূর্ণনের গতি নির্দেশ করছে)

3. গ্যাসের মধ্যে তড়িত-মোক্ষম করে। মোক্ষণ টিউব থেকে নির্গত পারমাণবিক হাইড্রোজেন প্যারা-হাইড্রোজেনের সঙ্গে মেশালে প্যারা-হাইড্রোজেনের কিছু অংশের রূপান্তর ঘটে। হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের আলোকরাসায়নিক মিলনের ক্ষেত্রে বা অ্যামোনিয়ার বিযোজনের ক্ষেত্রে হাইড্রোজেন পরমাণুর পরিমাণ এই বিক্রিয়ার সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

(i) $Cl + H_2 \rightleftarrows HCl + H$; $H + Cl_2 = HCl + Cl$

(ii) $NH_3 \rightleftarrows NH_2 + H$

4. O_2, NO, NO_2, CO^{2+}, Fe^{2+} প্রভৃতি কতকগুলি প্যারাম্যাগনেটিক বস্তুর উপস্থিতি এই পরিবর্তনে বিশেষ সাহায্য করে ; কিন্তু N_2,N_2O, CO_2, NH_3 প্রভৃতি তিরচুম্বকীয় বা ডায়াম্যাগনেটিক বস্তুগুলি এই পরিবর্তন ঘটাতে পারে না। অনুঘটকের উপর তাপের প্রভাব কিছুটা জটিল। স্বাভাবিক তাপমাত্রায় চারকোল মোটেই ফলপ্রসূ নয়, কিন্তু তরল বায়ুর তাপমাত্রায় চারকোল এই পরিবর্তন আনতে পারে। আবার 200° তাপাংকে চারকোলের ক্রিয়াশীলতা বৃদ্ধি পায়। দেখা গেছে প্যারাম্যাগনেটিক অক্সাইডগুলিই 86°K তাপাংকে সবচেয়ে সক্রিয় ও উপযুক্ত অনুঘটক।

6.7b ধর্ম :—অর্থো এবং প্যারা-হাইড্রোজেনের মধ্যে সবচেয়ে বড় পার্থক্য হল অণুর আভ্যান্তরীণ শক্তির (Internal molecular energy) প্রভেদ। এই মান অ-প্রতিসম অর্থো-হাইড্রোজেনের থেকে প্রতিসম প্যারা হাইড্রোজেনে কম। ফলতঃ স্বাভাবিক তাপমাত্রায় কি পরিমাণে অর্থো বা প্যারা-হাইড্রোজেন থাকবে তা' তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল, পরম শূন্য তাপাংকে হাইড্রোজেনের সবটাই প্যারা-প্রকারে থাকে। তাপমাত্রার বৃদ্ধির সাথে সাথে অর্থো-হাইড্রোজেনের পরিমাণ বাড়তে থাকে। তাত্ত্বিক ও পরীক্ষামূলক উভয় প্রকারেই দেখা গেছে যে উচ্চতাপাংকে অর্থো ও প্যারা হাইড্রোজেনের অনুপাত 3 : 1। অর্থাৎ শতকরা 75 ভাগ অর্থোও 25 ভাগ প্যারা। আরও দেখা গেছে যে প্যারা থেকে অর্থো-তে পরিবর্তন শুধু তাপমাত্রা বাড়ালেই হয় না। এর জন্য অনুঘটকের উপস্থিতিও প্রয়োজনীয়।

যদিও সম্যকভাবে অর্থো ও প্যারা-হাইড্রোজেনের তুলনা করা সম্ভব হয়নি, কারণ অর্থো হাইড্রোজেনকে কখনও বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা যায় নি, তবুও নিচের বৈশিষ্ট্যগুলি অনুধাবন করা গেছে।

(i) প্যারা-ও সাধারণ হাইড্রোজেনের মধ্যে বাষ্পচাপের বিশেষ পার্থক্য আছে। এদের মান 18°K তাপাংকে যথাক্রমে 365·0 ও 381·7 মি.মি.।

(ii) প্যারা-হাইড্রোজেনের গলনাংক 13·82°K কিন্তু সাধারণ হাইড্রোজেনের গলনাংক 13·95°K.

(iii) অর্থো এবং প্যারা হাইড্রোজেনের মধ্যে চৌম্বক ধর্মেরও পার্থক্য আছে। দুই নিউক্লিয়াসের পারস্পরিক বিপরীতমুখী ঘূর্ণন পরস্পরকে প্রশমিত করার জন্য প্যারা-হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক-মোমেন্ট (Magnetic moment) থাকে না কিন্তু অর্থো হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে এই প্রশমনের অভাব চৌম্বক মোমেন্টের সৃষ্টি করে। এই দুই প্রকারভেদের মধ্যেও তাপগ্রাহিতা ও তাপ-পরিবাহিতার পার্থক্য এতই উল্লেখযোগ্য যে এই ধর্মের সাহায্যে কোনো মিশ্রণের প্যারা-হাইড্রোজেনের পরিমাণ নিরূপণ করা যায়।

হাইড্রোজেনের আইসোটোপ ও ভারী জল

হাইড্রোজেনের তিনটি আইসোটোপ আছে। এরা হল হাইড্রোজেন(বা প্রোটিয়াম), ডয়টেরিয়াম ও ট্রিটিয়াম। এদের ভরসংখ্যা ও পারমানবিক ওজন হল যথাক্রমে 1 ও 1·008123, 2 ও 2·014708 এবং 3 ও 3·01707. এদের মধ্যে প্রথম দুটি অর্থাৎ হাইড্রোজেন ও ডয়টোরিয়াম প্রকৃতিতে পরিমাপযোগ্য মাত্রায় পাওয়া যায় এবং এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য (Relative abundance) হল যথাক্রমে 99·9844% ও 0·0156% ট্রিটিয়াম (সংকেত T) একটা অস্থায়ী পদার্থ এবং নিউক্লিয়ারীয় পরিবর্তনের সময় এর সৃষ্টি হয়।

6.8a. আবিষ্কার :—1931 খৃষ্টাব্দে বার্জ ও মেনজেল রাসায়নিক উপায়ে ও ভর বর্ণালীলেখ (mass spectrograph) থেকে নিধারিত পরমাণবিক ওজনের মধ্যে তারতম্য দেখে এই অভিমত পোষণ করেন যে হাইড্রোজেনের অন্য একটি আইসোটোপ আছে যার ভরসংখ্যা (mass number) হবে দুই। পরে এই অভিমত ইউরে, ব্রিকভেডে ও মার্ফির গবেষণার দ্বারা সমর্থিত হল। এরা দেখালেন যে প্রচুর পরিমাণ তরল হাইড্রোজেনকে বাষ্পায়িত করে গাঢ় করলে যে সামান্য অবশেষ থাকে (পরীক্ষায় 4 লিটার তরল হাইড্রোজেন নিয়ে তাকে গাঢ় করে আয়তন 1 c.c. করা হয়েছিল) তার বর্ণালীতে দুটি ক্ষীণ রেখা দেখা যাচ্ছে, যাদের তরঙ্গদৈর্ঘ, ভরসংখ্যা দুই-সমন্বিত কোনো হাইড্রোজেন যদি আদৌ থাকে, তবে সে বামার সিরিজে যে রেখা দেবে সেই রেখার তরঙ্গদৈর্ঘের সাথে হুবহু মিলে যায়। পরে আরও দেখা গেল যে সাধারণ হাইড্রোজেনের বর্ণালীতে এই বৈশিষ্ট্যসূচক রেখা অতি ক্ষীণ ভাবে রয়েছে। এই পরীক্ষাগুলি থেকে ডয়টেরিয়াম-এর (সংকেত D) অস্তিত্ব সংশয়াতীত ভাবে প্রমাণিত হল।

6.8c. ডয়টেরিয়াম ও ভারী জল প্রস্তুতি :—ডয়টেরিয়াম ও তার যৌগ সম্বন্ধে গবেষণা থেকে জানা গিয়েছে যে সাধারণ জলের তড়িত বিশ্লেষণের পদ্ধতিই ডয়টেরিয়াম প্রস্তুতির শ্রেষ্ঠ উপায়।

যে পদ্ধতির সাহায্যে এই পৃথকীকরণ করা হয় তার বিশদ বিবরণ আইরিং ও ফ্রস্ট প্রমুখ বিজ্ঞানীরা দিয়েছেন। প্রচুর পরিমাণে হাইড্রোজেন উৎপাদন করার জন্য শিল্পে যে হাইড্রোজেন সেল ব্যবহার করা হয় তার ইলেকট্রোলাইট বা তড়িত বিশ্লেষ্য থেকে পাতিত করে পাওয়া জল এখানে প্রারম্ভিক বস্তু হিসাবে নেওয়া হয়। এর কারণ এই যে জল তড়িতবিশ্লেষণের ফলে ডয়টেরিয়ামে কিছুটা সমৃদ্ধ হয়। 0·5N সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের দ্রবণ ও নিকেলের ইলেকট্রোড ব্যবহার করে সাতটি পর্যায়ে এই তড়িত-বিশ্লেষণ করা হয়। প্রথম পর্যায়ে মোট আয়তন হ্রাস করে $\frac{1}{8}$ করা হয়। তড়িত-বিশ্লেষণের সময় বিদ্যুৎ প্রবাহ 250 অ্যাম্পিয়ার ও তাপমাত্রা 0—35°-র মধ্যে রাখা হয়। দ্রবনস্থ ক্ষারকে CO_2-এর সাহায্যে প্রশমিত করার পর জলকে পতিত করা হয় এবং পাতিত অংশকে অন্য যে তড়িত সেলগুলিতে ওই একই পরিমাণ ডয়টেরিয়াম আছে—সেখানে মিশ্রিত করা হয়। এইভাবে উপর্যুপরি তিনবার তড়িত বিশ্লেষণ করার পর জলে ডয়টেরিয়ামের পরিমাণ বেশ বৃদ্ধি পায় এবং তড়িত বিশ্লেষণের ফলে জাত গ্যাসে যথেষ্ট পরিমাণে ভারী আইসোটোপ থাকে। এই গ্যাসকে অক্সিজেনের সাথে জ্বালিয়ে ভারী জলে পরিণত করে তড়িত বিশ্লেষণের উপযুক্ত পর্যায়ে মিশিয়ে দেওয়া হয়। জলে ডয়টেরিয়াম কতটা আছে তা' জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করে স্থির করা হয়।

তড়িত বিশ্লেষণের দ্বারা ডয়টেরিয়ামের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি

পর্যায়	প্রারম্ভিক ইলেকট্রোলাইটের আয়তন	অবশেষের আপেক্ষিক গুরুত্ব	অবশেষে ডয়টেরিয়ামের পরিমাণ (%)
প্রথম	2310 লিটার*	0·998	0·03
দ্বিতীয়	340	0·999	0·50
তৃতীয়	52	1·001	2·50
চতুর্থ	10·15	1·007	8·00
পঞ্চম	2	1·031	30·00
ষষ্ঠ	420 মিলিলিটার	1·098	93·00
সপ্তম	83 "	1·104	99·00

[* এই ইলেকট্রোলাইটে D : H এর অনুপাত 1 : 3000 হিসাবে থাকে। এই প্রারম্ভিক ইলেকট্রোলাইট কিছুটা সমৃদ্ধই থাকে।]

ভারী জলের সাথে সোডিয়ামের বিক্রিয়া ঘটিয়ে ডয়টেরিয়াম পাওয়া যায়

$$2D_2O + 2Na = 2NaOD + D_2$$

6.8c. ভৌত ধর্ম : সাধারণ হাইড্রোজন ও ডয়টেরিয়ামের মধ্যে ভৌত ধর্মের কিছু কিছু পার্থক্য আছে।

ধর্ম	হাইড্রোজেন	ডয়টেরিয়াম
ত্রৈধ বিন্দু °K	13·92	18·71
স্ফুটনাংক °K	20·38	23·59
গলনের লীন তাপ (Latent heat of fusion) ক্যালরি/গ্রাম অণু	28·0	52·3
বাষ্পচাপ, মিমি. মার্কারী	54	5 8
13 92° K তাপাংকে		
18 71° K	458	130
20·38° K	760	250
23·59° K	17 0	760
পরম শূন্য তাপাংকে শক্তি (Zero point energy)	6176 (H_2-র জন্য)	4337 (D_2-র জন্য)

ভারী হাইড্রোজেনের ঘনত্ব লঘু হাইড্রোজেনের প্রায় দ্বিগুণ; এছাড়া ভারী আইসোটোপের তাপপরিবাহিতা ও ব্যাপন অংক (coefficient of diffusion) লঘু আইসোটোপের $1/\sqrt{2}$ গুণ। সাধারণ হাইড্রোজেনের মত ডয়টেরিয়ামও অর্থো ও প্যারা আকারে থাকে। স্বাভাবিক উষ্ণতায় সাম্যমিশ্রণে এদের অনুপাত 2 (অর্থো) : 1 (প্যারা)

ভারী বরফের ঘনত্ব সাধরণ জলের থেকে বেশী তাই সাধরণ জলে 0° তাপাংকে একখণ্ড 'ভারী' বরফ ডুবে যাবে কিন্তু সাধারণ বরফ ভাসবে। ভারী জল সাধারণ জলের মতই বর্ণহীন তরল এবং প্রচণ্ডভাবে জলাকর্ষী। D_2O প্রাণী ও উদ্ভিদের বাঁচার পক্ষে অনুকূল নয়। বিশুদ্ধ ভারী জলে প্রোটোজোয়া বা ব্যাঙাচি বেঁচে থাকতে পারে না, বা এতে সাধারণতঃ কোন বীজ (যেমন তামাকের বীজ) অংকুরিত হতে পারে না। কারও মতে মানব-শরীরে সাধারণ জলের সঙ্গে যে সামান্য পরিমাণ ভারীজল জৈব-বিপাকীয়বিক্রিয়ায় (Organic metabolic process) চলে আসে তাই-ই মানবদেহে জরার অন্যতম কারণ।

6.8d. রাসায়নিক ধর্ম : সাধারণ জল ও হাইড্রোজেন যে যে প্রকৃতির রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে ডয়টেরিয়াম ও ভারীজল একই রকমের সমস্ত বিক্রিয়াই করে এবং একই ধরণের যৌগ উৎপন্ন করে। তবুও বিপুল ভর-পার্থক্য এবং পরম শূন্য তাপমাত্রায় শক্তির উল্লেখযোগ্য পার্থক্য থাকার জন্য দুই আইসোটোপের ক্ষেত্রে একই ধরণের বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়া-গতি (Rate of equivalent reactions) ও বিক্রিয়ার সাম্যবিন্দুর অবস্থানের যথেষ্ট পার্থক্য থাকে। সাধারণতঃ ডয়টেরিয়াম লঘু হাইড্রোজেনের চেয়ে ধীরগতিতে ও কম মাত্রায় (less completely) বিক্রিয়া করে। দৃষ্টান্ত স্বরূপ বলা যেতে পারে

1. সাধারণ হাইড্রোজেনের চেয়ে ডয়টেরিয়াম ধাতু পৃষ্ঠে (metallic surface) কম বহির্ভুত হয়।

2. অনুঘটক প্রভাবিত হাইড্রোজেনেশান (catalytic hydrogenation) বিক্রিয়ায় সাধারণ হাইড্রোজেনের চেয়ে ডয়টেরিয়াম ধীরগতিতে কাজ করে।

3. হ্যালোজেনের সাথে (যেমন ব্রোমিনের সাথে) বিক্রিয়ায় সাধারণ হাইড্রোজেনের চেয়ে ডয়টেরিয়ামের উচ্চতর সক্রিয়তা-শক্তির প্রয়োজন।

4. সাধারণ জলের দ্বারা অ্যালুমিনিয়াম কারবাইড Al_4C_3 80° তাপমাত্রায় আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে দ্রুত মিথেন উৎপন্ন করে কিন্তু ঐ তাপমাত্রায় D_2Oর দ্বারা ডিউট্রোমিথেন, CD_4, উৎপন্ন হবার গতি লক্ষ্যণীয় ভাবে ধীর।

5 সাধারণ জলের চেয়ে ভারী জলে গ্লুকোজের সন্ধান (fermentation) অনেক ধীর ভাবে হয়।

ডয়টেরিয়াম সম্বন্ধে সবচেয়ে বেশী রাসায়নিক তথ্য পাওয়া গেছে এর বিনিময় বিক্রিয়া (Exchange reaction) থেকে, অর্থাৎ যে সব বিক্রিয়ায় এক বা একাধিক ডয়টেরিয়াম পরমাণু লঘু হাইড্রোজেনের এক বা একাধিক পরমাণুর মধ্যে পারস্পরিক পরিবর্তন/প্রতিস্থাপন ঘটে। বিনিময়-বিক্রিয়াগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য হল—

1. এই ধরণের পরমাণু বিনিময় $D+H_2 \rightleftarrows H+HD$

বা $nD+H_nX \rightleftarrows nH+D_nX$

$H_nX=H_2O$ বা NH_3 বা CH_4

2. অনুঘটক প্রভাবিত বিনিময়ও ঘটে। যেমন, প্ল্যাটিনাম-ব্ল্যাকের উপস্থিতিতে

$D_2+H_2O \rightleftarrows D_2O+H_2$

এবং $3D_2+C_6H_6 \rightleftarrows C_6D_6+3H_2$

বিক্রিয়াগুলি ঘটে।

ভারী জল সাধারণ জলের মতই বিভিন্ন লবণের সাথে যুক্ত হয়ে সোদক লবণ তৈরী করতে পারে। যেমন, $CuSO_4, 5D_2O$; $Na_2SO_4, 10D_2O$; $CoCl_2, 6D_2O$ ইত্যাদি। একই তাপমাত্রায় ডিউট্রোহাইড্রেটগুলির বাষ্পচাপ তুলনীয় হাইড্রেটগুলির বাষ্পচাপের চেয়ে কম, অন্যথায় তারা পরস্পরের অনুরূপ।

ভারী জলের আয়নীয় গুণফল 25° তাপাংকে $[D^+][OD^-]=1.95\times10^{-15}$ কিন্তু সাধারণ জলের $[H^+][OH^-]=1.00\times10^{-14}$.

ভারী জল সাধারণ জলেরই মত অক্সাইড। D_2Oর সংগে সোডিয়াম ইত্যাদি ধাতুর বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট ডিউট্রোহাইড্রক্সাইড ($-OD$ গ্রুপ সমন্বিত) তৈরী হয়। অক্সি-ডয়টেরিয়াম অ্যাসিডগুলি [যেমন DNO_3, D_2SO_4, D_3PO_4] গঠিত হয় সংশ্লিষ্ট আম্লিক নিরুদকের সাথে D_2Oর বিক্রিয়ায়। DCl সরাসরি D_2 এবং Cl_2-এর বিক্রিয়ায় অথবা ডয়টেরিয়াম অক্সাইড ও বেঞ্জইল ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করা যেতে পারে। ডয়টেরোঅ্যামোনিয়া তৈরী করা হয় Mg_3N_2 ও D_2Oর মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে।

$$3D_2O+Mg_3N_2=2ND_3+3MgO$$

H_2O ও D_2O ছাড়াও এই গোষ্ঠীর অন্তর্গত আর একটি যৌগ হল HDO. এর ধর্ম H_2O ও D_2O-এর মাঝামাঝি। নিচের বিনিময়-বিক্রিয়ার ফলে এটি তৈরী হয় :

$$H_2O + D_2O \rightleftarrows 2HDO$$

এই বিক্রিয়া উচ্চ তাপে মোক্ষন টিউবে সম্ভবপর।

6.9. ট্রিটিয়াম [$_1T^3$]: ট্রিটিয়াম প্রকৃতিতে অতি সামান্য পরিমাণে থাকে, প্রকৃতিতে হাইড্রোজেন ও ট্রিটিয়ামের অনুপাত $10^{18} : 1$. প্রকৃতিতে ট্রিটিয়াম সৃষ্টি হয় বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেনের সাথে নিউট্রনের সংঘাতে। এই নিউট্রন আবার সৃষ্ট হয় বায়ুমণ্ডলের গ্যাসের সাথে মহাজাগতিক রশ্মির বিক্রিয়ার প্রভাবে। এ ছাড়াও অন্য যে সব নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় ট্রিটিয়াম সৃষ্টি হতে পারে সেগুলি হল :—

(i) $_1D^2 + {_1D^2} = {_1T^3} + {_1H^1}$

(ii) $_3Li^6 + {_0n^1} = {_1T^3} + {_2He^4}$

(iii) $_4Be^9 + {_1D^2} = {_1T^3} + {_4Be^8}$

(iv) $_4Be^9 + {_1D^2} = {_1T^3} + 2\,{_2He^4}$

(v) $_5B^{10} + {_0n^1} = 2\,{_2He^4} + {_1T^3}$

ট্রিটিয়াম একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ, β-কণা নিঃসারী ; β-কণার শক্তি 0.0179 Mev এবং এর অর্ধ-জীবন 12.4 বছর। হাইড্রোজেনের এই আইসোটোপ একটি বহু প্রয়োজনীয় ট্রেসার (tracer). ট্রিটিয়ামের ত্রৈধ বিন্দু 20.62°K, স্ফুটনাংক 25.04°K। এর সন্ধি তাপমাত্রা ও সন্ধি চাপ নির্ণয় করা হয়েছে এবং এদের মান যথাক্রমে 43.7°K ও 20.8 অ্যাটমস্ফিয়ার।

প্রশ্নাবলী

1. হাইড্রোজেন প্রস্তুতির বিভিন্ন প্রণালীগুলি কি কি? কোক ও বাষ্পের সাহায্যে হাইড্রোজেন প্রস্তুতির পদ্ধতিটি বিস্তারিতভাবে লেখ।

   What are the methods employed for the manufacture of hydrogen. Describe fully the method based on coke and steam.

2. টীকা লেখ : (ক) বশ্ পদ্ধতি (খ) লেন পদ্ধতি (গ) হাইড্রোজেনের অন্তর্ধৃতি (গ) অর্থো- ও-প্যারা-হাইড্রোজেন।

Write short notes on :

(a) Bosch Process, (b) Lane Process, (c) Occlusion of hydrogen (d) Ortho and para hydrogen.

3. হাইড্রোজেনের বিভিন্ন রূপভেদ ও সমস্থানিক বলতে কি বোঝ ? কি ভাবে ভারী হাইড্রোজেন তৈরী হয় এবং কি কি বিভিন্ন কাজে একে ব্যবহার করা হয়। কেন ভারী হাইড্রোজেনকে হাইড্রোজেনের রূপভেদ না বলে সমস্থানিক বলা হয় ?

What do you mean by isotopy and allotropy of hydrogen ? **How is** heavy hydrogen prepared ? What are its uses. Why heavy **hydrogen** is said to be an isotope and not an allotropic modification.

4. জায়মান ও পারমাণবিক হাইড্রোজেন বলতে কি বোঝ ? পর্যায়-সারণীতে হাইড্রোজেনের স্থান সম্বন্ধে আলোচনা কর।

What do you mean by nascent hydrogen and atomic hydrogen. **Discuss** the position of hydrogen in the periodie table.

সপ্তম অধ্যায়

অক্সিজেন

আণবিক সংকেত O_2, পরমাণু ক্রমাংক 8, ইলেকট্রনীয় বিন্যাস $1s^2 2s^2 2p^4$, পারমাণবিক ওজন 16.0000 (সংজ্ঞানুসারে), গলনাংক −218·4°, স্ফুটনাংক −183°, সন্ধি উষ্ণতা −118·75°, দ্রাব্যতা 1 অ্যাটমস্ফিয়ার চাপে 1 লিটার জলে 0° তাপাংকে 48·9 সি. সি.

7.1a আবিষ্কার :

অক্সিজেনের আবিষ্কারের আগে বাতাসকে মৌলিক পদার্থ বলে ভাবা হত। কিন্তু 1777 খৃষ্টাব্দে শীলে (Scheele) তার Treatise on Air and Fire-এ দ্ব্যর্থহীনভাবে উল্লেখ করেন বাতাসের দুটি উপাদানের মধ্যে কেবলমাত্র একটিই শ্বাসকার্য ও দহনে সক্ষম। 1772 খৃষ্টাব্দে তিনি সর্বপ্রথম নাইটার উত্তপ্ত করে ও পরে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড ও অন্যান্য ধাতব অক্সাইডকে (এদের মধ্যে লাল মারকিউরিক অক্সাইডও ছিল) উত্তপ্ত করেও অক্সিজেন তৈরী করেন। শীলে ছাড়াও ব্রিটিশ বিজ্ঞানী প্রিস্টলেও স্বাধীনভাবে 1774 খৃষ্টাব্দে লাল মারকিউরিক অক্সাইডকে উত্তপ্ত করে অক্সিজেন তৈরী করেন। শীলে এই গ্যাসের নাম দেন অগ্নিবায়ু (Fire air) এবং প্রিস্টলে এর নাম দেন ফ্লোজিস্টনহীনবায়ু (dephlogisticated air)। কিন্তু শীলে বা প্রিস্টলে কেউই এর সঠিক প্রকৃতি বা মৌলিকত্বের পরিচয় দিতে পারেন নি। অক্সিজেন গ্যাসটি প্রকৃতপক্ষে কি অর্থাৎ এর মৌলিকত্বের প্রথম সঠিক পরিচয় দেন ফরাসী বিজ্ঞানী ল্যাভয়সিয়ের। তিনি প্রথম এর মৌলিকত্বের কথা বলেন এবং এর নাম দেন অক্সিজেন বা অ্যাসিড সৃষ্টিকারী। তাঁর ধারণা ছিল যে সকল অ্যাসিডের মধ্যেই অক্সিজেন আছে। পরে এ ধারণা যে ঠিক নয় তা' প্রমাণিত হয়। কিন্তু তা সত্ত্বেও ল্যাভয়াসিয়েরের দেওয়া নামটির পরিবর্তন করা হয় নি এবং এটা আজও প্রচলিত রয়েছে।

7.1b প্রাপ্তি বা অবস্থান (Occurrence) :

যে সমস্ত মৌল পৃথিবীতে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় অক্সিজেন তাদের মধ্যে সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য। মৌল অবস্থায় বায়ুমণ্ডলে আয়তনের হিসাবে শতকরা 21 ভাগ ও ওজনের হিসাবে শতকরা 23 ভাগ অক্সিজেন আছে। যুক্তাবস্থায় জলে শতকরা 88·81 ভাগ এবং প্রায় সকল প্রকার শিলা, উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহে বিভিন্ন পরিমাণে অক্সিজেন থাকে। ভূত্বকের বস্তুরাশির প্রায় শতকরা 50 ভাগ ও ওজনের হিসাবে মহাসমুদ্রের মোট পরিমাণের 36 শতাংশ অক্সিজেনে গঠিত।

অক্সিজেনের যে তিনটি আইসোটোপ আছে তাদের আইসোটোপীয় প্রাচুর্যের (Isotopic abundance) অনুপাত হল O^{16} : O^{17} ; O^{18} = 99·76 : 0·04 : 0·2

7.2. প্রস্তুতি : ল্যাবোরেটরী পদ্ধতি :

রসায়নাগারে 5 ভাগ পটাশিয়াম ক্লোরেট ও 1 ভাগ ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইডের নিবিড় মিশ্রণকে প্রায় 250° তাপাংকে শক্ত মোটা টেষ্টটিউবে উত্তপ্ত করে অক্সিজেন তৈরী করা হয়। নির্গত গ্যাস জলের অপসারণের সাহায্যে সংগ্রহ করা হয়।

$$2KClO_3 = 2KCl + 3O_2$$

শুধুমাত্র পটাশিয়াম ক্লোরেটকে উত্তপ্ত করেই অক্সিজেন পাওয়া সম্ভব, এবং পটাশিয়াম ক্লোরেট (গলনাংক 357°) থেকে 380° তাপাংকেই অক্সিজেন নির্গত হয়। কিন্তু এতে বিক্রিয়ার ফলে পটাশিয়াম পারক্লোরেট উৎপাদিত হবার জন্য সমস্ত বস্তুটি

লেই-এর মতো হয়ে যায়। এ থেকে অক্সিজেন পেতে হলে প্রায় 600° তাপমাত্রার দরকার হয়।

$$KClO_4 = KCl + 2O_2$$

কিন্তু সামান্য MnO_2 থাকলে বিক্রিয়াটি 250° তাপাংকেই হতে পারে ; MnO_2 এখানে অনুঘটকের কাজ করে এবং বিক্রিয়ার পূর্বে বা পরে এর ভর বা সংযুতির কোনো পরিবর্তন হয় না। বিক্রিয়ার শেষে জল দিয়ে ধুয়ে বিক্রিয়ক থেকে উদ্ধার করে আবার একে অন্যত্র বিক্রিয়ায় ব্যবহার করা যায়।

সতর্কতা

অক্সিজেন তৈরী করার সময় কয়েকটি দিকে সতর্ক দৃষ্টি রাখা প্রয়োজন। ঐগুলি হল।

(i) ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড ও পটাশিয়াম ক্লোরেটের মিশ্রণটি যেন নিবিড় মিশ্রণ হয়।

(ii) পরীক্ষা নলের মিশ্রণটিকে ধীরে ধীরে এবং প্রথমে সামনের দিকে উত্তপ্ত করা দরকার। প্রথম থেকেই পিছন দিকে উত্তপ্ত করলে অতিরিক্ত অক্সিজেন গ্যাস নির্গত হবে এবং চাপে পরীক্ষা নলটি ফেটে যাবে।

(iii) নির্গম নলের অপর প্রান্তটি যেন দ্রোণীর জলের উপরে থাকে। তা'না হলে নির্গম নল দিয়ে জল পরীক্ষা নলে ঢুকে যাবে ও পরীক্ষা নল ফেটে যাবে।

(iv) বিক্রিয়কপূর্ণ পরীক্ষা নলটি নির্গম নলের দিকে একটু কাত করে রাখতে হবে ; না হলে নির্গম নলের মুখ বন্ধ হয়ে যেতে পারে।

(v) ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইডে অনেক সময় কাঠ কয়লা মেশানো থাকে। পটাশিয়াম ক্লোরেটের সঙ্গে একে উত্তপ্ত করলে প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে। তাই অক্সিজেন গ্যাস তৈরীর কাজে ব্যবহার করবার আগে সামান্য একটু ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড একটি শুষ্ক পরীক্ষা নলে নিয়ে উত্তপ্ত করে দেখে নেওয়া দরকার অগ্নি স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হচ্ছে কিনা। যদি না হয় তবেই MnO_2 ব্যবহার করা চলবে।

অন্যান্য পদ্ধতি :

অক্সিজেন পাবার অন্যান্য যে সব পদ্ধতি আছে তা একে একে নীচে দেওয়া হল :

1. মৃদু ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুর অক্সাইডের তাপ-বিয়োজন করে :

(i) মারকিউরিক অক্সাইডকে 450° উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে মারকিউরিক অক্সাইড বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেন উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াটি উভমুখী।

$$2HgO \rightleftarrows 2Hg + O_2$$

(ii) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে কস্টিক পটাশ যোগ করে যে সিলভার অক্সাইড পাওয়া যায় তাকে প্রায় 350° তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে অতি বিশুদ্ধ অক্সিজেন পাওয়া যায়।

$$2\,AgNO_3 + 2KOH = Ag_2O + 2KNO_3 + H_2O\,;$$

$$2\,Ag_2O = 4Ag + O_2$$

(iii) এ ছাড়া বিভিন্ন ডাইঅক্সাইড, পারঅক্সাইড এবং কোনো উচ্চতর ধাতব অক্সাইডকে তাপ বিযোজিত করেও অক্সিজেন পাওয়া সম্ভব।

(ক) $2\,PbO_2 \rightleftarrows 2\,PbO + O_2$

(খ) $2\,Pb_3O_4 \rightleftarrows 6\,PbO + O_2$

(গ) $4\,CrO_3 = 2\,Cr_2O_3 + 3O_2$

(ঘ) $2\,H_2O_2 = 2\,H_2O + O_2$

(ঙ) $2\,BaO_2 \rightleftarrows 2\,BaO + O_2$

(চ) $3\,MnO_2 = M_3O_4 + O_2$

(লাল-তপ্ত অবস্থার জন্য যে তাপাংকের প্রয়োজন সেই তাপাংক উত্তপ্ত করা হয়)

2. কতকগুলি অক্সি-অ্যাসিড ও তাদের অক্সিজেনে সমৃদ্ধ লবণকে উত্তপ্ত করে :

অক্সিজেনে সমৃদ্ধ ধাতব ডাইক্রোমেট, পারম্যাঙ্গানেট, ক্লোরেট, নাইট্রেট, পারক্সিডাইসালফেটকে উত্তপ্ত করলে অক্সিজেন পাওয়া যায়।

(i) $2MNO_3 = 2MNO_2 + O_2$ (M = Na বা K)

(ii) $2Pb(No_3)_2 = 2PbO + 4NO_2 + O_2$

শক্ত কাচের নলে লেড নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করলে লেড নাইট্রেট ভেঙ্গে গিয়ে হলদে লেড মনোক্সাইড, বাদামী রং-এর নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড ও অক্সিজেন উৎপাদিত হয়। নির্গত গ্যাস-মিশ্রণকে বরফ ও সোডিয়াম ক্লোরাইডের মিশ্রণদ্বারা পূর্ণ U-টিউবের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করালে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড হলুদ তরলে পরিণত হয় ও শুধুমাত্র অক্সিজেন বেরিয়ে আসে।

অক্সিজেন পাবার অন্য বিক্রিয়াগুলি হল :

(i) $4K_2Cr_2O_7 = 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + BO_2$

(ii) $2KMnO_4 = K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$

(iii) $2K_2S_2O_4 = 2K_2SO_4 + 2SO_3 + O_2$

লাল-তপ্ত ঝামা পাথরের ওপর ফোঁটা-ফোঁটা নাইট্রিক অ্যাসিড ফেললে নাইট্রিক অ্যাসিড ভেঙ্গে গিয়ে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$$

অনুরূপ বিক্রিয়ায় গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ভেঙ্গে গিয়ে সালফার ডাইঅক্সাইড ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। উৎপাদিত গ্যাসমিশ্রণকে হিমমিশ্রের মধ্য দিয়ে চালিত করলে SO_2 তরলায়িত হয় এবং অক্সিজেন বেরিয়ে আসে।

3. জলের সঙ্গে স্বাভাবিক তাপমাত্রায় Na_2O_2-এর (সোডিয়াম পারক্সাইড) বিক্রিয়ায় অক্সিজেন উৎপন্ন হয়—

$$2Na_2O_2 + 2H_2O = O_2\uparrow + 4NaOH$$

4. হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্র দ্রবণে ফোঁটা ফোঁটা পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণ যোগ করলে অক্সিজেন হয় ও পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণ বর্ণহীন হয়ে যায়।

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 5H_2O_2 = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 5O_2$$

5. ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড বা ক্রোমিয়াম ট্রাইঅক্সাইডকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড দিয়ে উত্তপ্ত করলে অক্সিজেন তৈরী হয়।

$$2MnO_2+2H_2SO_4=2MnSO_4+2H_2O+O_2$$
$$4CrO_3+6H_2SO_4=2Cr_2(SO_4)_3+6H_2O+3O_2$$

6. ব্লিচিং পাউডারের একটি লেই-এর সাথে কয়েক ফোঁটা কোবাল্ট ক্লোরাইড (যা অনুঘটকের কাজ করে) মিশ্রিত করে উত্তাপ দিলে তা' থেকে অক্সিজেন নির্গত হয়।

$$2Ca(OCl)Cl=2CaCl_2+O_2$$

7.3 শিল্প পদ্ধতি ঃ শিল্পে প্রচুর পরিমাণে অক্সিজেন উৎপাদন করার জন্য দুটি পদ্ধতি আছে —1. তরল বায়ুর আংশিক পাতন (Fractional distillation) (নিষ্ক্রিয় গ্যাসের অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।

2. জলের তড়িত-বিশ্লেষণ (হাইড্রোজেনের অধ্যায়ে জলের তড়িত বিশ্লেষণ দ্রষ্টব্য।)

7.4 ধর্ম ঃ (ক) ভৌতধর্ম ঃ

(i) অক্সিজেন বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন গ্যাস। বায়ুর চেয়ে অল্প ভারী। তাপমাত্রা যথেষ্ট পরিমাণে কমিয়ে উপযুক্ত চাপ প্রয়োগ করে একে ঈষৎ নীল তরলে পরিণত করা যায়। তরল হাইড্রোজেনের তাপমাত্রায় শীতল করলে ($-219°$) তা' থেকে নীল কঠিন পদার্থ পাওয়া যায়। (ii) কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়—তিন অবস্থাতেই অক্সিজেন প্যারাম্যাগনেটিক পদার্থ। (iii) অক্সিজেন অণুতে দুটি করে পরমাণু থাকে। (iv) সাধারণ তাপমাত্রায় 100 আয়তন জলে 3 আয়তন অক্সিজেন দ্রবীভূত হতে পারে এবং এই দ্রবীভূত অক্সিজেনই জলচর প্রাণীদের জীবন যাত্রার পক্ষে প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের উৎস।

(খ) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(i) রাসায়নিক ধর্মের বিচারে অক্সিজেন এক অতি সক্রিয় পদার্থ এবং বহু ধাতু ও অধাতুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে অক্সাইড গঠনে সক্ষম। বিভিন্ন মৌল বা যৌগের সাথে অক্সিজেন স্বাভাবিক তাপমাত্রায় ধীরে ধীরে বিক্রিয়া করে এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে বিক্রিয়ার তীব্রতা বৃদ্ধি পায়। অক্সিজেনের সাথে অন্য যে কোন পদার্থের বিক্রিয়ার ফলে যদি **আলোক ও উত্তাপের** সৃষ্টি হয়, তবে সেই বিক্রিয়াকে **দহন** (**Combustion**) বলে।

(ii) অক্সিজেন নিজে দহনশীল না হ'লেও দহন ও শ্বাসকার্যের সহায়ক।

(iii) **অক্সিজেনে অধাতুর দহন ঃ** কার্বন, ফসফরাস বা সালফারের মত অধাতুগুলি অক্সিজেনে উজ্জ্বলভাবে জলে এবং আম্লিক অক্সাইড গঠন করে। এদের জলে দ্রবীভূত করলে সংশ্লিষ্ট অ্যাসিডগুলি পাওয়া যায়।

1. $C+O_2=CO_2$; $Co_2+H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$
2. $S+O_2=SO_2$; $SO_2+H_2O=H_2SO_3$
3. $4P+5O_2=2P_2O_5$; $P_2O_5+H_2O=2HPO_3$ (মেটা ফসফরিক অ্যাসিড)
   HPO_3+H_2O (উত্তপ্ত) $=H_3PO_4$ (অর্থোফসফরিক অ্যাসিড)

হাইড্রোজেনকে অক্সিজেনে দহন করলে হাইড্রোজেন নীল শিখাসহ জ্বলতে থাকে ও জল উৎপন্ন করে।

(iv) **অক্সিজেনে ধাতুর দহন**ঃ—তাপ প্রয়োগ করলে কিছু কিছু ধাতু অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে অক্সাইড গঠন করে। এভাবে গঠিত অক্সাইডগুলি ধর্মে প্রধানতঃ ক্ষারকীয় অক্সাইড (Basic oxide)। এরা জলের সাথে বিক্রিয়া করে ক্ষার, ও অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$Na_2O + H_2O = 2NaOH$; $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$
$K_2O + H_2O = 2KOH$; $BaO + H_2O = Ba(OH)_2$
$MgO + 2HCl = MgCl_2 + H_2O$; $CuO + 2HCl = CuCl_2 + H_2O$

উত্তপ্ত সোডিয়াম ও পটাশিয়াম অতিরিক্ত অক্সিজেনে উজ্জ্বল হলুদ শিখাসহ জ্বলে ও যথাক্রমে সোডিয়াম পারক্সাইড Na_2O_2 ও পটাশিয়াম ডাইঅক্সাইড বা সুপার অক্সাইড গঠন করে ; জলের সাথে এদের বিক্রিয়ায় উভয় ক্ষেত্রেই অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$2Na + O_2 = Na_2O_2 \quad 2Na_2O_2 + 2H_2 = 2NaOH + O_2$$
$$K + O_2 = KO_2 \quad 4KO_2 + 2H_2O = 4KOH + 3O_2$$

একপ্রান্তে সামান্য জ্বলন্ত গন্ধক-যুক্ত পরিষ্কার লোহার তারকে অক্সিজেন পূর্ণ জারে প্রবেশ করালে ফেরাসোফেরিক অক্সাইডের সৃষ্টি হয় এবং তারটি ফুলঝুরি সহ জ্বলতে থাকে। জ্বলন্ত-ম্যাগনেসিয়ামের তার অক্সিজেনপূর্ণ জারে প্রবেশ করালে তা তীব্র উজ্জলভাবে জ্বলতে থাকে।

$$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4 \ ; \ 2Mg + O_2 = 2MgO$$

(v) স্বাভাবিক তাপমাত্রায় অন্যান্য উল্লেখযোগ্য বিক্রিয়াগুলি নীচে দেওয়া হল :

(ক) আর্দ্র বায়ুতে লোহার সাথে অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় মরিচা (হাইড্রেটেড্ ফেরিক অক্সাইড) উৎপন্ন হয়।

(খ) কোনো মিশ্রণে অক্সিজেন থাকলে আর্দ্র সাদা ফসফোরাস তার সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফসফোরাস পেণ্টঅক্সাইড গঠন করে। নাইট্রোজেন বা কোনো নিষ্ক্রিয় গ্যাস থেকে অক্সিজেন অপসারণের এটি একটি উৎকৃষ্ট পদ্ধতি।

(গ) নাইট্রিক অক্সাইড অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বাদামী নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন করে।

$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

(ঘ) স্ট্যানাস্, ফেরাস ও কিউপ্রাস লবণগুলিও সাধারণ তাপমাত্রায় O_2 দ্বারা জারিত হয়ে যায়। একই ভাবে সালফিউরাস অ্যাসিড সালফিউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

(ঙ) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে কিউপ্রাস্ ক্লোরাইডের বর্ণহীন দ্রবণ বাতাসে রেখে দিলে জারিত হয়ে সবুজ কিউপ্রিক ক্লোরাইডে পরিণত হয়।

7.7 অক্সিজেনের শোষক ঃ—(i) পটাশিয়াম পাইরোগ্যালেটের কস্টিক পটাশের দ্রবণ অক্সিজেনকে শোষণ করে কালো হয়ে যায়। গ্যাস বিশ্লেষণে এই বিক্রিয়ার সাহায্য নেওয়া হয়। (ii) ক্রোমাস ক্লোরাইডের আম্লিক দ্রবণও অক্সিজেন শোষণ করে ক্রোমিক ক্লোরাইডে পরিণত হয়।

$$4CrCl_2 + 4HCl + O_2 = 4CrCl_3 + 2H_2O$$

7.8 ব্যবহার ঃ

(i) অক্ষম রোগীর জন্য, পর্বত আরোহীদের জন্য, ডুবুরীদের কাজে সাবমেরিণে স্বাভাবিক শ্বাস প্রশ্বাসের জন্য অক্সিজেন প্রয়োজন।

(ii) ধাতু কাটা বা ধাতু ওয়েলডিং-এর কাজে অক্সি হাইড্রোজেন বা অক্সি অ্যাসিটিলীন শিখা সৃষ্টি করার জন্য। অক্সি-হাইড্রোজেন ব্লোপাইপ দুটি সমকেন্দ্রিক নল দিয়ে গঠিত এবং এদের অগ্রভাগ ক্রমশঃ সরু বা Jet-এর আকারে থাকে। এদের ভেতরে নল দিয়ে অক্সিজেন আর বাইরের নল দিয়ে হাইড্রোজেন প্রবাহিত করা হয়ে থাকে। এই দুই গ্যাস মিশ্রণকে জেটের মুখে জ্বালিয়ে দিলে এক তীব্র উত্তপ্ত সুতীক্ষ্ণ শিখার সৃষ্টি হয় এবং 2800° পর্যন্ত তাপমাত্রার সৃষ্টি হয়। অক্সি-অ্যাসিটিলীন শিখার ক্ষেত্রে হাইড্রোজেনের স্থানে অ্যাসিটিলীন গ্যাস নেওয়া হয়। কলিচুনের উপর এই অক্সি অ্যাসিটিলীন শিখা ফেললে সংশ্লিষ্ট স্থান ভাস্বর (Incandescent) হয়ে ওঠে এবং এক তীব্র সাদা আলো দেখতে পাওয়া যায়। একে লাইম লাইট বলে। এই শিখার সাহায্যে 3100 থেকে 3315° পর্যন্ত তাপ পাওয়া যায়। এই শিখা লোহা ইস্পাত কাটা বা ওয়েলডিং এর পক্ষে বিশেষ উপযুক্ত।

(iii) চারকোল পাউডারের সাথে মিশ্রিত তরল অক্সিজেন বিস্ফোরক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

প্রশ্নাবলী

1. কি ভাবে বাতাস থেকে প্রচুর পরিমাণে অক্সিজেন পাওয়া যায়? এই পদ্ধতির মূলনীতি কি?
   How is oxygen obtained on a large scale from air. Explain the principles involved in the proces.
   [সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ 7.3 দেখ। দ্বিতীয় অংশের বিশদ বিবরণের জন্য ভৌত রসায়নের যে কোন বই দেখ।]

2. কি ভাবে জলের তড়িত বিশ্লেষণ করে অক্সিজেন উৎপাদন করা যায়? অম্লাক্ত ক্রোমাস ক্লোরাইডের সাথে এর কি বিক্রিয়া হয়? কি কি কাজে অক্সিজেন ব্যবহার করা হয়?
   How can oxygen be obtained by electrolysis of water? What is the reaction of it with acidified chromous chloride? What are its uses?
   [সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ 7·3, 7.5, ও 7·8 দেখ]

অষ্টম অধ্যায়

জল

8.1 ভূমিকা :

প্রকৃতির বুকে অকৃপণভাবে যে পদার্থের অফুরন্ত সম্পদ ছড়িয়ে আছে তা হ'ল জল। প্রাণী ও উদ্ভিদের প্রাণ-ধারণের পক্ষে একান্ত প্রয়োজনীয় এই পদার্থ ভূপৃষ্ঠের চার ভাগের প্রায় তিন ভাগ অংশ জুড়ে আছে। জল হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের যৌগ হলেও প্রাচীন দার্শনিকরা একে একটি মৌল বলে মনে করতেন এবং বিশ্বসৃষ্টির পাঁচটি প্রধান উপাদান—ক্ষিতি (মাটি বা পৃথিবী) অপ্ (জল), তেজঃ (অগ্নি), মারুত (বাতাস) ও ব্যোম (ইথার)-এর একটি বলে জানতেন। 1781 খৃষ্টাব্দে ক্যাভেণ্ডিস প্রথম হইড্রোজেন ও অক্সিজেনের মিশ্রণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে জল উৎপাদন করে এর যৌগিক ধর্মের কথা প্রমাণ করেন।

8.2. প্রাকৃতিক উৎস : মহাসমুদ্রে, স্থলের বুকে নদী ও হ্রদে, বিভিন্ন খনিজ ও শিলায় যুক্ত ভাবে প্রকৃতির বিভিন্ন অংশে তরল, কঠিন বা বাষ্পীয় – তিন অবস্থাতেই প্রচুর জল পাওয়া গেলেও—প্রকৃতিতে কোনো সময়ই বিশুদ্ধ অবস্থায় জল পাওয়া যায় না। এর কারণ প্রাকৃতিক জলে বিভিন্ন ভাসমান ও দ্রবীভূত পদার্থ মিশে থাকে। উৎস, অবস্থিতি ও অন্যান্য দ্রবীভূত ও মিশ্রিত দ্রব্যের পরিমাণ অনুসারে জলকে চার ভাগে ভাগ করা যায়।

1: বৃষ্টির জল : প্রাকৃতিক উপায়ে পাতিত বলে বৃষ্টির জলে সবচেয়ে কম অপদ্রব্য (Impurity) থাকে। একমাত্র দ্রবীভূত গ্যাসীয় পদার্থ ছাড়া এতে অন্য কোনো পদার্থ মিশ্রিত থাকে না। মিশ্রিত পদার্থগুলির মধ্যে প্রধান বাতাসের অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, কার্বন ডাই অক্সাইড ও সামান্য অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট। শিল্পাঞ্চলের বাতাসে সালফার ডাই অক্সাইড থাকার জন্য বৃষ্টির জলে অনেক সময় এই গ্যাস দ্রবীভূত হয়ে থাকে। বৃষ্টির জল খর নয়, মৃদু।

2. নদীর জল : নদীর জলের উৎস হল বৃষ্টির জল ও পাহাড় পর্বতের গলিত তুষার। কাজেই নদীর জলে বৃষ্টির জলের সাথে মিশ্রিত পদার্থ ছাড়াও মাটি ও বিভিন্ন শিলাজ পদার্থ মিশে থাকে। ভাসমান অদ্রবীভূত বিভিন্ন জৈব ও অজৈব পদার্থ ছাড়াও এতে সোডিয়াম, পটাশিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম ও আয়রনের ক্লোরাইড, সালফেট, কার্বনেট, বাইকার্বনেট মিশে থাকে। দ্রবণীয় ক্যালসিয়াম বাইকার্বনেটের সৃষ্টি হয় জলে দ্রবীভূত কার্বন ডাই অক্সাইডের সাথে শিলাজ ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়াম কার্বনেটের বিক্রিয়ায়—

$$MCO_3 + H_2O + CO_2 = M(HCO_3)_2 \qquad (M = Ca \text{ বা } Mg)$$

এই ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়ামের লবণ থাকার জন্য নদীর জল খরজল।

3. **প্রস্রবণ বা কূপের জল :** বৃষ্টির জল ভূপৃষ্ঠের উপর পড়ে ভূপৃষ্ঠের অসংখ্য রন্ধ্রের মধ্য দিয়ে প্রবেশ করে কাঁকর, পাথর, পলিমাটির স্তরের মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত হয়ে ভূগহ্বরের বিভিন্ন স্তরে সঞ্চিত হয়। প্রাকৃতিক উপায়ে ফিলটার হবার জন্য এই জলে ভাসমান বা অদ্রবীভূত অপদ্রব্য থাকে না, কিন্তু জলে দ্রবণীয় খনিজ লবণের পরিমাণ বেড়ে যায়। ভাসমান অপদ্রব্য ও জৈব পদার্থ, অ্যামোনিয়া ইত্যাদি থেকে মুক্ত থাকার ফলে (জৈব পদার্থ ও অ্যামোনিয়া ভূমির ব্যাকটিরিয়ার দ্বারা জারিত হয়ে যায়) খর জল হলেও এই জল পানের পক্ষে উপযোগী।

4. **সমুদ্র জল :** নদী এসে মেশে সাগরে; তাই নদীর জলের সঙ্গে আগত বিভিন্ন ভাসমান ও দ্রবীভূত ও অদ্রবীভূত সব রকমের পদার্থই সমুদ্রের জলে মিশে যায়। প্রাকৃতিক জলের মধ্যে সমুদ্রের জলেই বিভিন্ন মিশ্রিত পদার্থের পরিমাণ সবচেয়ে বেশী। সমুদ্র জলে সাধারণত 3.6 শতাংশ দ্রবীভূত পদার্থ থাকে, তার মধ্যে 2.6 শতাংশই সোডিয়াম ক্লোরাইড। সমুদ্রজলে সাধারণতঃ 96.5% জল, 2.6% সোডিয়াম ক্লোরাইড, 0.3% ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরাইড, 0.2% ম্যাগনেশিয়াম সালফেট, 0.13% ক্যালসিয়াম সালফেট, 0.07% পটাশিয়াম ক্লোরাইড, 0.007% ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইড ও অতি সামান্য পরিমাণে সিলিকা, আয়োডিন ইত্যাদি থাকে। মধ্য এশিয়ার ডেড-সীর জলে দ্রবীভূত লবণের পরিমাণ বেশী—শতকরা 22.8 শতাংশ। এই জল লবণাক্ত, খর এবং পানের অনুপযোগী।

8.3. খর জল ও মৃদু জল (Hard and Soft water)

সাবানের সাথে জলের ফেনা উৎপাদন করার ক্ষমতার ভিত্তিতে জলকে **মৃদু** ও **খর** দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয়েছে।

যে জলে সহজেই সাবানের ফেনা প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় তাকে মৃদু জল বলে। আর যে জলে প্রচুর সাবান মিশিয়ে ঘষলেও সামান্য ফেনা উৎপন্ন হয় তাকে খর জল বলে।

সাধারণ সাবান হল স্টিয়ারিক, পামিটিক বা ওলেয়িক প্রভৃতি ফ্যাটি (fatty) অ্যাসিডের সোডিয়াম বা পটাশিয়াম ঘটিত লবণ। এরা জলে দ্রবণীয়। যখন খর জলে সাবান ঘষা হয় তখন খর জলের দ্রবণীয় ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম বা আয়রনের লবণ এদের সাথে বিক্রিয়া করে ওই সব ফ্যাটি অ্যাসিডের অদ্রবণীয় ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম বা আয়রনের লবণ উৎপন্ন করে এবং এইভাবে সাবানের ফেনা উৎপাদনের ক্ষমতা হ্রাসপ্রাপ্ত হয়।

$$2C_{17}H_{35}COONa + Mg^{2+} = (C_{17}H_{35}COO)Mg + 2Na^{+}$$

কাজেই যে পর্যন্ত ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম বা আয়রন আয়ন জলে থাকবে ততক্ষণ ভালো ফেনা হবে না অর্থাৎ জল খর হবে।

খরতার শ্রেণীবিভাগ :—

জলের খরতা দুরকমের—অস্থায়ী ও স্থায়ী।

অস্থায়ী খরতা ঃ ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম ও আয়রনের দ্রবণীয় বাইকার্বনেট জলে দ্রবীভূত থাকলে সেই জলের খরতাকে অস্থায়ী খরতা বলে।

জলের অস্থায়ী খরতা খরজলকে (i) **ফুটিয়ে** অথবা **ক্লার্ক পদ্ধতিতে পরিমিত পরিমান কলিচুন মিশিয়ে ফুটিয়ে** দূর করা হয়।

(i) **স্ফুটনপদ্ধতি ঃ** দ্রবণীয় ধাতব বাইকার্বনেটযুক্ত অস্থায়ী খরতাবিশিষ্ট জলকে ফোটালে দ্রবণীয় ধাতব বাইকার্বনেট অদ্রবণীয় ধাতব কার্বনেটরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয় ও কার্বন ডাই অক্সাইড নির্গত হয়। এই পদ্ধতি ছোটখাট কাজ বা গৃহস্থালীর কাজের পক্ষেই উপযোগী ; বৃহত্তর ক্ষেত্রে এর প্রয়োগ সম্ভব নয়।

$$M^{II}(HCO_3)_2 = M^{II}CO_3 + H_2O + CO_2 \quad [M = Ca, Mg \text{ বা } Fe\ (II)]$$

$FeCO_3$ বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে ফেরিক কার্বনেটে পরিণত হয় ও জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফেরিক হাইড্রক্সাইড গঠন করে।

$$4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 = 4Fe(OH)_3 + 4CO_2$$

(ii) **ক্লার্ক পদ্ধতি ঃ** শিল্পে ব্যবহার্য জলের অস্থায়ী খরতা দূর করার জন্য ক্লার্ক পদ্ধতিতে জলের সঙ্গে পরিমিত পরিমানে কলিচুন মিশিয়ে ফোটানো হয়। এর ফলে দ্রবীভূত ধাতব বাইকার্বনেটগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। কলিচুনের পরিমাণ সম্পর্কে বিশেষ সতর্কতা অবলম্বন করতে হবে ; কারণ সামান্য কলিচুন উদবৃত্ত হলেই জল আবার খরজলে পরিণত হবে।

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = MgCO_3 + CaCO_3 + 2H_2O$$

এই ম্যাগনেশিয়াম কার্বনেট জলে খানিকটা দ্রবণীয়, কাজেই এই ম্যাগনেশিয়াম কার্বনেটকে অধঃক্ষিপ্ত করতে হলে আবার চুনের প্রয়োজন হবে।

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + CaCO_3$$

সেইজন্য ম্যাগনেশিয়াম বাইকার্বনেটের ক্ষেত্রে ক্যালসিয়াম বাইকার্বনেটের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত কলিচুনের দ্বিগুণ পরিমাণ ব্যবহার করতে হয়।

8.4. স্থায়ী খরতা ও তার দূরীকরণ ঃ

জলে দ্রবীভূত ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়ামের ক্লোরাইড বা সালফেটের উপস্থিতিই জলের স্থায়ী খরতার কারণ। সাধারণভাবে ফুটিয়ে বা কলিচুন মিশ্রিত করে ফুটিয়ে জলের এই স্থায়ী খরতা দূর করা যায় না। আবার শিল্পে ব্যবহার্য জল—তা যে উদ্দেশ্যেই ব্যবহৃত হোক না কেন—মৃদু হওয়া আবশ্যক। তাই স্থায়ী খরতা দূর করার জন্য অন্য কতকগুলি পদ্ধতির সাহায্য নেওয়া হয়। এই পদ্ধতিগুলিতে স্থায়ী ও অস্থায়ী দু'প্রকারের খরতাই দূর হয় ; অস্থায়ী খরতা দূর করার জন্য স্বতন্ত্র কোনো পদ্ধতি আবশ্যক হয় না। বিভিন্ন পদ্ধতির মধ্যে কোনটি (বা কোনগুলি) অনুসৃত

হবে তা নির্বাচন করা হয় খরতা দূর করে প্রাপ্ত মৃদু জল কি উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত হবে তার থেকে। পদ্ধতিগুলির বর্ণনা নীচে দেওয়া হল।

(i) **লাইম সোডা পদ্ধতি :** এই পদ্ধতিতে জলের খরতা দূর করতে হলে পরিমিত পরিমানে চুন ও সোডা জলের সাথে মিশিয়ে ফোটানো হয়। স্থায়ী ও অস্থায়ী —দু'রকমের খরতাই এর দ্বারা দূর হয়। যেহেতু ম্যাগনেশিাম কার্বনেট জলে কিছুটা দ্রবণীয় (100 ppm = 100 parts per million) তাই ম্যাগনেশিয়ামের ক্ষেত্রে ক্যালশিয়ামের তুলনায় দ্বিগুণ পরিমাণে চুন প্রয়োজন হয়। সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াগুলি হল :

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + 2H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + MgCO_3 + 2H_2O$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + CaCO_3$$

এবং $MgCl_2 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2 + CaCO_3 + 2H_2O$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + Na_2SO_4$$

বিক্রিয়াজাত অধঃক্ষেপ ফিলটার করে পৃথক করা হয়। অধঃক্ষেপণ ও তঞ্চনের (coagulation) সহায়তার জন্য সামান্য অ্যালুমিনিয়াম সালফেট বা সোডিয়াম অ্যালুমিনেট যোগ করা হয়ে থাকে। বিক্রিয়ার পক্ষে প্রয়োজনীয় লাইম ও সোডার পরিমাণ অশোধিত জলের বিশ্লেষণ করে আগে থেকে হিসাব করে নেওয়া হয়।

লাইম-সোডা পদ্ধতি **শীতল ও উষ্ণ,** দুই অবস্থায় করা যায়। সাধারণতঃ শিল্পে শীতল করার কাজে বা শহরের সরবরাহিত জলের আংশিক মৃদু করণের জন্য **শীতল লাইম সোডা পদ্ধতি** অনুসরণ করা হয়। আর বয়লার ইত্যাদির জন্য প্রয়োজনীয় জলের মৃদুকরণের জন্য **উষ্ণ লাইম সোডা পদ্ধতির** সাহায্য নেওয়া হয়।

(ii) **ফসফেট দ্বারা মৃদুকরণ :** বয়লারে ব্যবহার্য জলের ক্যালসিয়াম ঘটিত লবণ বিভিন্ন মনো, ডাই-বা ট্রাইসোডিয়াম ফসফেট যোগ করে দূর করা হয়। ক্যালসিয়াম আয়ন ফসফেটের সাথে ক্যালসিয়াম ফসফেটের পংক (sludge) সৃষ্টি করে। একে সহজেই পৃথক করা যায়। একই ভাবে ম্যাগনেশিয়াম আয়নও দূর করা সম্ভব।

$$3M^{II}SO_4 + 2Na_3PO_4 = M^{II}_3(PO_4)_2 + 3Na_2SO_4$$

[M^{II} = Ca বা Mg]

উল্লিখিত ফসফেটের পরিবর্তে সোডিয়াম হেক্সামেটাফসফেট বা "**ক্যালগন**"-ও অনেক সময় ব্যবহার করা হয়। এক্ষেত্রে ক্যালসিয়াম বা ম্যাগনেশিয়ামের খরতাসৃষ্টি-কারী আয়নগুলি অধঃক্ষিপ্ত হবার পরিবর্তে জটিল যৌগরূপে বদ্ধ হয়ে যায়।

$$Na_2[Na_4(PO_3)_6] + CaSO_4 = Na_2[Na_2Ca(PO_3)_6] + Na_2SO_4$$

(iii) **ক্ষারক বিনিময় বা পারমুটিট পদ্ধতিঃ** আধুনিক এই পদ্ধতির মাধ্যমে জলের স্থায়ী ও অস্থায়ী দু'প্রকারের খরতাই এক সাথে দূর করে শিল্পের বিভিন্ন চাহিদা মেটানোর জন্য প্রয়োজনীয় মৃদু জল উৎপাদন করা হয়। পারমুটিট হল কৃত্রিম উপায়ে প্রস্তুত সোডিয়াম অ্যালুমিনিয়াম সিলিকেট। প্রাকৃতিক খনিজ জিওলাইটের (Zeolite) অনুরূপ এই পারমুটিট সোডিয়াম সিলিকেট ও সোডিয়াম অ্যালুমিনেটের দ্রবণকে মিশ্রিত করে তৈরী করা হয়।

এই পদ্ধতিতে খরজলকে পারমুটিট স্তরের মধ্যদিয়ে অনুস্রাবিত (Percolated) করা হয়। ফলে পারমুটিটের ক্ষারক মূলকের সাথে খর জলের ক্ষারক মূলকের পারস্পরিক প্রতিস্থাপন ঘটে এবং ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়াম ঘটিত লবণগুলি পারমুটিট স্তরে ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়াম পারমুটিট হিসাবে থেকে যায় এবং প্রাপ্ত জলে ক্যালসিয়াম বা ম্যাগনেশিয়াম লবণ থাকে না। অর্থাৎ জল মৃদু হয়ে যায়।

$$Na_2Ze + Ca(HCO_3)_2 = CaZe + NaHCO_3$$

$$Na_2Ze + MgSO_4 = MgZe + NaSO_4$$

[Ze = জিওলাইট বা পারমুটিট]

দীর্ঘ ব্যবহারের ফলে পারমুটিট স্তরের প্রতিস্থাপন ক্ষমতা ক্রমশঃ হ্রাস পেতে থাকে। নিষ্ক্রিয় পারমুটিট স্তরকে সক্রিয় করতে হলে পারমুটিট স্তরের নীচের দিক থেকে 10 শতাংশ সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণ চালিত করা হয়। এর ফলে আবার প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঘটে ও পারমুটিট স্তরস্থ ম্যাগনেশিয়াম ও ক্যালসিয়াম আয়ন তাদের দ্রবণীয় ক্লোরাইড গঠন করে ও সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণের সঙ্গে বেরিয়ে আসে। পারমুটিট স্তরে সোডিয়াম পারমুটিট তৈরী হয়।

(Ca বা Mg) পারমুটিট + NaCl = Na-পারমুটিট + $CaCl_2$ বা $MgCl_2$

অতিরিক্ত খর জলকে পারমুটিট পদ্ধতিতে মৃদু করার আগে সাধারণতঃ চুনের সাহায্যে আংশিক মৃদু করে নেওয়া হয়।

(iv) **আয়ন-বিনিময়ী রেজিনের (বা রজনের) মাধ্যমেঃ (আয়ন-নির্মুক্ত জল):** আয়ন-বিনিময়ী রজন হ'ল সংশ্লেষিত (synthetic) জৈব রজন। যেমন কফি রঙের সালফোনেটেড পলিস্টাইরিন, সালফোনেটেড ফেনল-ফরমালডিহাইড-রজন বা জিওকার্ব-H রজন। এদের প্রত্যেকটিতেই $-SO_3H$ মূলক থাকে। এদের হাইড্রোজেন আয়ন অন্য কোনো ক্যাটায়ন (যেমন ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম, সোডিয়াম) দ্বারা প্রতিস্থাপিত হতে পারে। এই ধরণের রজন বিস্তৃত pH-ব্যাপৃতিতেও [নিম্ন ও উচ্চ উভয় প্রকারের] (pH-range) কার্যকর; পক্ষান্তরে নিম্ন pH মানে অজৈব সিলিকেটঘটিত বিনিময়ী বস্তুগুলি ভেঙ্গে যেতে থাকে।

আশোধিত জলকে যদি **হাইড্রোজেন ক্যাটায়ন বিনিময়ী রজনের** [সুবিধার জন্য এদের HR-দিয়ে নির্দেশিত করা হবে, R = মূলকের জৈব অংশ] স্তরের মধ্য দিয়ে চালিত করা হয় তবে ক্যাটায়নগুলো নিচের বিক্রিয়ানুসারে রজন স্তরে আটকে যাবে।

$$M^{II}(HCO_3)_2 + 2HR = M^{II}R_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

[M^{II} = Ca বা Mg]

$$NaHCO_3 + HR = NaR + CO_2 + H_2O$$

সালফেট বা ক্লোরাইডও একই ভাবে জলের থেকে দূর হয়ে যাবে।

$$M^{II}SO_4 + 2HR = M^{II}R_2 + H_2SO_4$$

$$NaCl + HR = NaR + HCl$$

ফলে রজনস্তর থেকে বেরিয়ে আসা জলে খরতা সৃষ্টিকারী যৌগগুলির সংশ্লিষ্ট অ্যানায়নীয় অ্যাসিড বর্তমান থাকবে। অর্থাৎ H_2CO_3, H_2SO_4, HCl ইত্যাদি জলে থাকবে ও জল আম্লিক হবে।

এই জলে উল্লিখিত অ্যাসিড থাকার জন্য অধিকাংশ কাজেই এই জল ব্যবহার করা যাবে না। কাজেই এই অ্যাসিড দূর করার জন্য এই জলকে **অ্যানায়ন-বিনিময়ী রজনের** স্তরের মধ্যদিয়ে চালিত করতে হবে। অ্যানায়ন বিনিময়ী রজনগুলি হল উচ্চ আণবিক ওজনবিশিষ্ট অ্যামিন (R_4NCl) ও ক্ষারীয় হাইড্রক্সাইড থেকে সংশ্লেষিত পদার্থ। যেমন অ্যামবারলাইট IRA-400। [সুবিধার জন্য বিক্রিয়ার এদের R_4NOH লেখা হবে]

অ্যাসিডের সাথে এরা এভাবে বিক্রিয়া করে—

$$R_4NOH + HCl = R_4NCl + H_2O$$

ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন বিনিময়ী রজনস্তরের মধ্য দিয়ে পরিশোধিত জল সম্পূর্ণভাবে সমস্ত আয়ন ও ইলেকট্রোলাইট মুক্ত। বিশুদ্ধ এই মৃদু জলকে **আয়ননির্মুক্ত** (deionised) জল বলা হয়। এই জল অ্যালুমিনিয়াম বা পলিভাইনিলিডিন ক্লোরাইডের পাইপের সাহায্যে পরিবাহিত হয়।

দীর্ঘ ব্যবহারে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন বিনিময়ী রজনস্তর তাদের বিনিময়ী ক্ষমতা হারিয়ে ফেলে। তাদের সক্রিয়তা পুনরুদ্ধার করা হয় যথাক্রমে 0·2 মোলার সালফিউরিক অ্যাসিড ও 0·2 মোলার কস্টিক সোডার দ্রবণ দিয়ে। বিক্রিয়া দুটি এরূপ —

(i) $M^{II}R_2 + H_2SO_4 = M^{II}SO_4 + 2HR$

(ii) $R_4NCl + NaOH = R_4NOH + NaCl$

অ্যানায়ন-বিনিময়ী রজন সিলিকা দূর করতে সক্ষম নয়, এবং জলে সিলিকার উপস্থিতি (বিশেষতঃ বয়লারে ব্যবহার্য জলে) অবাঞ্ছনীয়। তাই সিলিকা দূর করার জন্য যে জল বিনিময়ী রজনস্তরের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করা হবে তাতে NaF যোগ করা হয়। রজনস্তরে তা থেকে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড

তৈরী হয় এবং এই হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড সিলিকার সাথে বিক্রিয়ায় H_2SiF_6 গঠন করে। এই H_2SiF_6কে তারপর অ্যানয়ন বিনিময়ী রজনের দ্বারা জল থেকে অপসারিত করা যায়। প্রাথমিক স্তরের বিক্রিয়া দুটি নীচে দেওয়া হল।

$$SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O$$
$$SiF_4 + 2HF = H_2SiF_6$$

বয়লারের কাজে ব্যবহার্য জলের ক্ষেত্রে জলের সাথে দ্রবীভূত অক্সিজেন (যার উপস্থিতি বয়লারের অবক্ষতিকে (corrosion) ত্বরান্বিত করে] সোডিয়াম সালফাইট বা হাইড্রাজিনের মত কোনো বিজারক যোগ করে আগে দূর করে নেওয়া হয়।

এই পদ্ধতি ও একমাত্র পাতন ছাড়া অন্য কোনো স্বতন্ত্র উপায়ে জলকে সম্পূর্ণ আয়ন-নির্মুক্ত করা যায় না।

8.5. জলের খরতা পরিমিতি (Estimation of hardness of Water)

জলের খরতা ppm (parts per million) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। দশলক্ষ ভাগ জলে যত ভাগ দ্রবীভূত খরতা সৃষ্টিকারী পদার্থ আছে, তাদের "$CaCO_3$-তুল্যাংকের" পরিমাণ যত তত ppm হল জলের খরতা। এই হিসাবে দ্রবীভূত ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম বা আয়রন-ঘটিত যৌগের সবটাই তাদের "**$CaCO_3$-তুল্যাংক**" রূপে হিসাব করা হয় [যদি কোনো জলের নমুনাতে দশলক্ষ ভাগ জলে x ভাগ খরতা সৃষ্টিকারী পদার্থ থাকে, তবে এই x পরিমাণের ক্যালসিয়াম কার্বনেট-তুল্যাংক যত [ধরা যাক a], জল তত ppm [অর্থাৎ a ppm] খরতাসম্পন্ন হবে।

জলের খরতা ভারসিন-এর (Versene) সাহায্যে সহজে বর্ণনা করা যেতে পারে। এই পদ্ধতি আগে ব্যবহৃত সাবান-পদ্ধতি (Soap method) থেকে অনেক সহজ ও কম সময়সাপেক্ষ। ভারসিন হল EDTA বা Ethylene diamine tetraacetic acid (=EDTA)-এর ডাইসোডিয়াম লবণ। EDTA-এর রাসায়নিক সংকেত হল

$$\begin{matrix} HOOCCH_2 \searrow & & \nearrow CH_2CCOH \\ & N-CH_2-CH_2-N & \\ HOOCCH_2 \nearrow & & \searrow CH_2COOH \end{matrix}$$

সংক্ষেপে এর ডাই সোডিয়াম লবণকে লেখা যেতে পারে Na_2H_2V. ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়ামের সাথে বিক্রিয়ায় এদের জটিল যৌগের সৃষ্টি হয়।

$$Na_2H_2V \rightleftharpoons 2Na^+ + H_2V^{2-}$$
$$H_2V^{2-} + Ca^{2+} \rightleftharpoons [CaV]^{2-} + 2H^+$$

এই পদ্ধতিতে বিশ্লেষণীয় জলের নমুনার pH NH_4Cl ও NH_4OH-এর বাফার দ্রবণের সাহায্যে 10 করে নেওয়া হয়। এর সাথে এরিওক্রোম ব্ল্যাক-টি (Eriochrome black T) সূচক মেশানো হয় (প্রতি 50 c.c. জলের নমুনার জন্য 15-20 ফোঁটা)। মিশ্রিত দ্রবণকে 45° তাপমাত্রায় গরম করে 0·01 মোলার EDTA

দিয়ে টাইট্রেশন করা হয়। সূচকের রং-এর পরিবর্তন প্রশম-বিন্দুতে লাল থেকে নীল হয়।

8.6. **শিল্পে জলের ব্যবহার** : রাসায়নিক শিল্পে ব্যবহৃত জলের প্রায় শতকরা 50 ভাগ বিভিন্ন ক্ষেত্রে শীতল করার কাজে বা স্টীম (steam) তৈরী করার কাজে ব্যবহৃত হয়। প্রধানতঃ কি কি কাজে শিল্পে জল ব্যবহার করা হয়ে থাকে এবং সেই জলের কি বৈশিষ্ট্য থাকা প্রয়োজন [অর্থাৎ কোন কোন অপদ্রব্য জলে থাকা বাঞ্ছনীয় নয় ইত্যাদি] তা নীচে সংক্ষেপে বিবৃত করা হল।

(ক) **লণ্ড্রীর কাজে** : লণ্ড্রীর কাজে ব্যবহৃত জল মৃদু হওয়া আবশ্যক। কারণ, খর জল ব্যবহার করলে খর জলে স্থিত ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেশিয়ামের দ্রবীভূত লবণ সাবানের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ; ফলে বেশী পরিমাণে সাবান ব্যয়িত হয়। এছাড়াও খরজলের আয়রনঘটিত লবণের উপস্থিতি কাপড়ে একটা বাদামী ছোপের সৃষ্টি করে।

(খ) **বয়লারের জল** : বয়লারের কাজে ব্যবহার্য জলকে অবশ্যই মৃদু হতে হবে। কারণ খর জল ব্যবহার করলে বয়লারের ভিতরের দেওয়ালে তাপের অপরিবাহী কারবনেট ও সালফেটের **প্রলেপ** পড়ে ; ফলে উত্তাপের জন্য অধিকতর পরিমাণে জ্বালানীর প্রয়োজন হয় এবং বয়লারের দেওয়াল ক্রমশঃ অশক্ত হয়ে ওঠে ও ফেটে যাবার সম্ভাবনা দেখা দেয়। বয়লারের আভ্যন্তরীণ দেওয়ালের এই প্রলেপকে **Boiler Scale** বলে।

(ii) জলে ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরাইড থাকলে, ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরাইড আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয় ও তার থেকে জাত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বয়লারের লোহার তৈরী দেহের সঙ্গে বিক্রিয়া করে বয়লারের **অবক্ষতি** (corrosion) ঘটায়।

$$MgCl_2 + H_2O \rightleftarrows Mg(OH)Cl + HCl$$

কাজেই জলে $MgCl_2$ এর উপস্থিতি বাঞ্ছনীয় নয়।

(iii) **ফোমিং (Foaming)** : জলের উপরিভাগ ও বয়লারের মধ্যবর্তী মুক্ত অংশে বুদ্বুদ্-সৃষ্টির ঘটনাকে ফোমিং বলা হয়। এই বুদ্বুদ্ সৃষ্টি জলের থেকে উদ্ভূত বাষ্পের সহজ নির্গমনকে ব্যাহত করে। এর কারণ, জলে যদি অতিরিক্ত মাত্রায় দ্রবীভূত পদার্থ থাকে তা' জলের পৃষ্ঠ টানকে (surface tension) বাড়িয়ে দেয়, ফলে বাষ্পের সহজ নির্গমন ব্যাহত হয়। বয়লারের দীর্ঘজীবনের জন্য এধরণের ফোমিং যত কম হয় ততই ভাল।

8.7. **পানীয় জল** : পানীয় জল স্বাস্থ্যের দিক থেকে নিরাপদ হওয়া প্রয়োজন। একে অতি অবশ্যই সমস্ত রোগসৃষ্টিকারী জীবাণু থেকে মুক্ত হতে হবে। এতে কোনো ভাসমান পদার্থ থাকবে না ; এতে কপার বা লেড-ঘটিত, [যা দেহে সঞ্চিত হলে, দেহের পক্ষে ক্ষতিকর] অথবা অ্যামোনিয়া বা নাইট্রেট ঘটিত কোনো লবণ [যা ড্রেন বা কোনো পচনশীল জৈব পদার্থ থেকে জলে এসে মেশে] থাকা চলবে না। এ'ছাড়া

পানীয় জলকে সুপেয় সুস্বাদু ও তৃপ্তিকর হতে হবে ;—এ জন্য জলে কার্বন ডাই-অক্সাইড ও ধাতব লবণ যোগ করতে হয়।

শহরাঞ্চলে জলের চাহিদা পূরণের জন্য সন্নিহিত কোনো নদী, হ্রদ বা খালের জল বিশুদ্ধ করে সরবরাহ করা হয়। উৎস থেকে জল পাম্পের সাহায্যে সেটলিং ট্যাংকে (settling tank) প্রেরণ করা হয়। এখানে ভাসমান পদার্থগুলি আস্রাবনের ফলে ট্যাংকের তলায় এসে জমা হয়। এর পর আস্রাবিত জলকে নিকটবর্তী আর একটি ট্যাংকে নিয়ে যাওয়া হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ে ফটকিরির ব্যবহার করা হয়। এর ফলে জলে ভাসমান সূক্ষ্ম কণা, ক্যালসিয়াম বাইকার্বনেট ও অন্যান্য অনেক পদার্থ, কিছু ব্যাকটিরিয়া আস্রাবিত হয়ে ট্যাংকের নীচে এসে জমা হয়। ফট্‌কিরি তঞ্চনে সাহায্য করে।

এই আংশিক বিশুদ্ধ জলকে একটি ফিলটার বেড-এর (Filter bed) মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করা হয়। এই ফিল্টার বেডের প্রথম স্তরে মিহি বালি, দ্বিতীয় স্তরে মোটা বালি ও তৃতীয় স্তরে পাথর নুড়ি থাকে।

এই ভাবে পরিস্রুত জলকে নিচে বর্ণিত পদ্ধতিগুলির সাহায্যে (যে কোনো একটি বা প্রয়োজনানুসারে একসাথে দু'টি বা তার বেশী পদ্ধতির সাহায্যে) জীবাণুমুক্ত করা হয়।

(i) **ক্লোরিনের সাহায্যে :** সামান্য মাত্রায় তরল ক্লোরিন বা ব্লিচিং পাউডার জলের সাথে মিশিয়ে জলকে জীবাণুমুক্ত করা হয়। তবে ক্লোরিনের মাত্রা বেশী হয়ে গেলে জলের থেকে ক্লোরিনের গন্ধ আসে।

ক্লোরামিন পদ্ধতিতে ক্লোরিনের সাথে অ্যামোনিয়া মিশিয়ে দেওয়া হয়। এই পদ্ধতি উৎকৃষ্টতর এবং জলের স্বাদও এতে তুলনামূলকভাবে উৎকৃষ্ট হয়।

(ii) **অতিবেগনী রশ্মির সাহায্যে :** সামান্য সময়ের জন্য অতিবেগনী রশ্মি-সম্পাত করে জলের জীবাণু নির্মূল করা যায়। এই পদ্ধতির সবচেয়ে বড় সুবিধা এই যে এর ফলে জলে কোনো অপ্রীতিকর গন্ধের সৃষ্টি হয় না।

(iii) **ওজোনিত বাতাসের সাহায্যে :** জলের মধ্যে ওজোনিত বাতাস প্রেরণ করে জলকে নির্বীজিত (sterilised) করা যেতে পারে। তবে ওজোনের ব্যবহারের ফলে জলে এক অপ্রীতিকর গন্ধের উদ্ভব হয় এবং তা' দূর করে সুপেয় করার জন্য তা'কে মুক্ত বাতাসে রেখে দিতে হয়।

(iv) **মুক্ত বাতাসে রেখে দিলেও** জল কিছুটা বিশোধিত হয়।

পানীয় জল একেবারে মৃদু হওয়া বাঞ্ছনীয় নয় ; জলের সুস্বাদের জন্য এতে বাইকার্বনেট-ঘটিত লবণ থাকা ভাল। আর পানীয় জল মৃদু হলে তা' লেড-পাইপের দ্বারা পরিবাহিত হবার সময় দ্রবীভূত অক্সিজেনের উপস্থিতির জন্য সামান্য দ্রবনীয় লেড অক্সাইড সৃষ্টি করে। লেডের যে কোন লবণই শরীরের পক্ষে ক্ষতিকারক। খরজলের পক্ষে এ সম্ভাবনা বিশেষ নেই।

রাসায়নিক কাজের জন্য ব্যবহৃত জলকে পাতিত করে বিশুদ্ধ করা হয়। এতে পানীয় জলকে অ্যাসিডযুক্ত পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট মিশিয়ে কিছুক্ষণ রেখে দেবার পর পাতিত করা হয়। প্রাপ্ত পাতিত জলকে সামান্য বেরিয়াম হাইড্রক্সাইডের সাথে মিশিয়ে আবার পাতিত করে জলের দ্রবীভূত কার্বন ডাই অক্সাইড দূর করা হয়। এই পাতিত জলকে পুনরায় টিন বা রূপার কনডেনসার (শীতক) ব্যবহার করে একটি পাইরেক্স বা জেনা-কাচের গ্রাহকে সংগ্রহ করা হয়। এই গ্রাহকের মধ্যে জল-সঞ্চয়নের আগে কিছুক্ষণ বাষ্প প্রবাহ চালিত করা হয়ে থাকে।

কনডাক্‌টিভিটি ওয়াটার (conductivity water) তৈরী করা হয় পাতিত জলকে সামান্য পারম্যাঙ্গানেট মিশিয়ে কোয়ার্টজ্‌ কনডেনসার ব্যবহার করে বার বার পাতিত করে। প্রাপ্ত জলকে জেনা বা পাইরেক্সের গ্রাহকে আগের মত উপায়ে সংগ্রহ করা হয়।

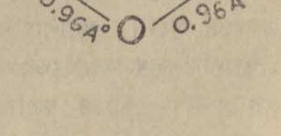
৪.৪ জলের ধর্ম ঃ

(i) স্বাভাবিক তাপমাত্রায় তরল বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন। (হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের) এই যৌগের বর্ণ ঘন স্তরে নীলাভ। জল বিদ্যুতের অপরিবাহী ; কারণ জল অতি সামান্য পরিমাণে হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল আয়নে বিয়োজিত হয়, $H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$। কিন্তু সামান্য অ্যাসিড বা ইলেকট্রোলাইট যোগ করলে এর তড়িৎ-পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়।

(ii) জলের (কঠিন অবস্থায়) গলনাংক 0° ও স্ফুটনাংক 100°। জলের ডাইইলেকট্রিক কন্সটাণ্টের মান উচ্চ (81) ; ফলে বিভিন্ন অ্যাসিড ক্ষার বা লবণের পক্ষে আয়ননকারী দ্রাবক হিসাবে বিশেষভাবে উপযুক্ত। একে অ্যাম্ফিপ্রোটিক দ্রাবক [অর্থাৎ একাধারে অ্যাসিড (প্রোটন দাতা) ও ক্ষার (প্রোটন গ্রহীতা)] বলা যেতে পারে। নিচের বিক্রিয়া থেকে এর অর্থ বোঝা যায় ঃ

$$H_2O + HOH \rightleftarrows H_3O^+ + OH^-$$

এক্ষেত্রে জলের প্রথম অণুটি জলের দ্বিতীয় অণুটির কাছ থেকে একটি প্রোটন গ্রহণ করছে অর্থাৎ প্রথম অণুটি প্রোটনগ্রহীতা বা একটি ক্ষারক ; কিন্তু দ্বিতীয় অণুটি একটি প্রোটন দিচ্ছে অর্থাৎ প্রোটন-দাতা বা অ্যাসিড। জলের অণুর ডাইপোল মোমেণ্ট হল 1·85D এবং যোজক কোণ ও যোজক দৈর্ঘ্যের পরিমাপ থেকে অণুর গঠন কৌণিক বলে জানা গেছে।



(iii) জল অক্সিজেনের হাইড্রাইড। কিন্তু পর্যায়-সারণীর যে গ্রুপে অক্সিজেন অবস্থিত, সেই গ্রুপের অন্যান্য মৌলের হাইড্রাইডদের সাথে ও পর্যায়

সারণীতে অক্সিজেনের সন্নিহিত অন্যান্য মৌলের হাইড্রাইডের সাথে এর পার্থক্য আছে। যেমন অক্সিজেনের সাথে একই গ্রুপের অন্তর্গত সালফার, সেলেনিয়াম ও টেলুরিয়ামের হাইড্রাইডগুলির স্ফুটনাংক হল যথাক্রমে -61.8, $-41°$ ও $-1.8°$ কিন্তু জলের $100°$। অর্থাৎ স্বাভাবিক তাপমাত্রায় জল ছাড়া অন্য হাইড্রাইডগুলি সবাই গ্যাসীয়। তেমনি অক্সিজেনের সন্নিহিত মৌল নাইট্রোজেন ও ক্লোরিনের হাইড্রাইড অর্থাৎ অ্যামোনিয়া ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দুই-ই গ্যাস। এদের সাথে তুলনা করলে জলের যে সব ধর্মগুলিকে অস্বাভাবিক বেশী মানের বলে মনে হয় সেগুলি হল—জলের উচ্চতর (1) আপেক্ষিক তাপ (2) গলন (fusion) ও বাষ্পীভবনের লীন তাপ।

জলের এই অস্বাভাবিক ধর্মের কারণ ব্যাখ্যা করতে গিয়ে বলা হয়েছে জলের দুটি বা তিনটি অণু একত্রে সংযুক্ত (associated) থাকে বলেই ধর্মের এই অস্বাভাবিকতা। এই অণুগুলি পরস্পর হাইড্রোজেন বণ্ড (hydrogen bond) দিয়ে যুক্ত থাকে।

(iv) বাষ্পীয় অবস্থায় জলের বাষ্প-ঘনত্ব থেকে জানা গেছে যে এই অবস্থায় জল H_2O হিসাবে থাকে ; একাধিক অণু সংযোজিত হয়ে থাকে না।

(v) জলের **রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলিকে** মোটামুটি **তিনটি** ভাগে শ্রেণীবদ্ধ করা যায়।

(ক) **বিয়োজন বিক্রিয়া :**

1. 2000° তাপাংকের উর্ধে বৈদ্যুতিক স্ফুলিঙ্গযোগে সাদা তপ্ত প্ল্যাটিনামের সংস্পর্শে জল ভেঙ্গে গিয়ে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন সৃষ্টি করে।

$$2H_2O \rightleftarrows 2H_2 + O_2 - 2 \times 58.1 \text{ কিলোক্যালোরি}$$

2. **ধাতুর সাথে বিক্রিয়া :** ক্ষারীয় ও ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুগুলি সাধারণতঃ স্বাভাবিক তাপাংকেই তরল জলকে বিয়োজিত করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। ম্যাগনেশিয়াম ঠাণ্ডা জলের সাথে সামান্য বিক্রিয়া করলেও গরম জলের সাথে ম্যাগনেশিয়াম, বেরিলিয়াম ও বিরল মৃত্তিকা (rare earth) ধাতুগুলি মোটামুটি ভাবে বিক্রিয়াক্ষম। ম্যাগনেশিয়াম, জিংক ও আয়রন, স্টীমকে সহজেই বিয়োজিত করতে পারে। অ্যালুমিনিয়ামের উপর জলের বিক্রিয়ায় সহজেই ধাতুর উপর অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের একটা প্রলেপ পড়ে যায়। ফলে আর বিক্রিয়া ঘটতে পারে না। লেড ও কপার একমাত্র লাল-তপ্ত অবস্থায়ই জলের বিয়োজন ঘটাতে সক্ষম। মার্কারি, সিলভার, গোল্ড ও প্ল্যাটিনাম শ্রেণীর কোনো ধাতুই (একমাত্র অসমিয়াম ব্যতিক্রম) জলের সাথে বিক্রিয়া করে না। অসমিয়াম, কোবাল্ট, টিন ও ক্যাডমিয়ামের মতই লাল-তপ্ত অবস্থায় বিক্রিয়া করে।

3. **অধাতুর সাথে বিক্রিয়া :**

অধাতুগুলির মধ্যে কার্বন, সিলিকন, ফ্লোরিন ও ক্লোরিনই কেবলমাত্র বিক্রিয়া করে।

$C+H_2O \rightleftharpoons CO+H_2$ (লাল-তপ্ত অবস্থায়)

$Si+2H_2O \rightleftharpoons SiO_2+2H_2$

$2F_2+2H_2O=2(HF)_2+O_2$ (স্বাভাবিক তাপাংকে)

$Cl_2+H_2O \rightleftharpoons HCl+HOCl$ (,,)

অধাতুর অনেক **অক্সাইড** জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$CO_2+H_2O=H_2CO_3$: $SO_3+H_2O=H_2SO_4$

$SO_2+H_2O=H_2SO_3$: $N_2O_3+H_2O=2HNO_2$

$2NO_2+H_2O=HNO_3+HNO_2$

$P_2O_5+3H_2O=2H_3PO_4$; $N_2O_5+H_2O=2HNO_3$

(খ) **আর্দ্রবিশ্লেষণ :** তীব্র অ্যাসিড ও মৃদু ক্ষার বা তীব্র ক্ষার ও মৃদু অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় যে লবণ উৎপন্ন হয় জলে সেই লবণ আবার ভেঙ্গে গিয়ে (আংশিকভাবে অন্ততঃ) উপাদানে বিশ্লিষ্ট হয়। জলের দ্বারা লবণের এই বিয়োজনকে **আর্দ্রবিশ্লেষণ** বলে।

$Na_2CO_3+2H_2O \rightleftharpoons 2NaOH+H_2CO_3$

$PCl_3+3H_2O \rightleftharpoons P(OH)_3+3HCl$ বা H_3PO_3+3HCl

$BiCl_3+H_2O \rightleftharpoons BiOCl+2HCl.$

(গ) **সোদক যৌগ বা যুতযৌগ** (Addition Compound)

অণুতে দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন-জোড় (lone pair) থাকার জন্য জল বহু আংবিক যৌগের সাথে শিথিলবন্ধনে যুক্ত হয়ে হাইড্রেট সৃষ্টি করতে পারে। $CuSO_4,5H_2O$, $Na_2CO_3,10H_2O$, $FeSO_4,7H_2O$ ইত্যাদি এর প্রকৃষ্ট উদাহরণ। এই জলের অণুগুলিকে কেলাস-জল বলে ও কেলাসের জ্যামিতিক আকৃতি ও বর্ণ এর উপর নির্ভরশীল।

(ঘ) **অনুঘটক হিসাবে জল :**

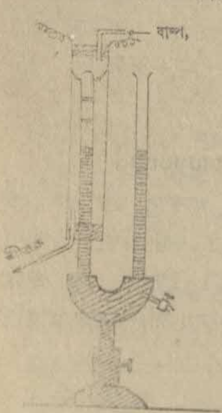
দীর্ঘদিনের অভিজ্ঞতা থেকে জানা গেছে যে অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়াই সামান্য পরিমাণ জলের উপস্থিতি ছাড়া দ্রুত সংঘটিত হয় না। উদাহরণ স্বরূপ বলা যেতে পারে কার্বন ডাই অক্সাইডের চুনের দ্বারা শোষণ, আয়রন ও ফসফোরাসের অক্সিজেন দ্বারা জারণ ইত্যাদি বিক্রিয়াগুলি জলের উপস্থিতি ছাড়া অত্যন্ত মন্থর গতিতে ঘটে। 1880 খৃষ্টাব্দে ডিক্সন দেখান যে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সাহায্যে ভাল করে শুষ্ক করা বিশুদ্ধ কার্বন মনক্সাইড ও অক্সিজেনের মিশ্রণের মধ্য দিয়ে বিদ্যুতস্ফুলিঙ্গ চালনা করলেও কোনো বিক্রিয়া ঘটে না। কিন্তু সামান্যতম জলের উপস্থিতিতে তীব্রভাবে

বিক্রিয়া ঘটে। অনুঘটক হিসাবে জলের গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা বেকারের গবেষণা থেকে পরিষ্কার বোঝা গেছে। তিনি বিভিন্ন পদার্থকে "চরম ভাবে অনার্দ্র বা বিশুষ্ক" করে (intensive drying) দেখিয়েছেন যে এই অবস্থায় অনেক গ্যাসই বিক্রিয়া করে না। যেমন চরম ভাবে জলমুক্ত বা অনার্দ্র হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের মিশ্রণ সূর্যালোক ও অতিবেগনী রশ্মির প্রভাবে তো দূরের কথা উত্তপ্ত করলেও বিক্রিয়া করে না। একই ভাবে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড ও অ্যামোনিয়াও কোন বিক্রিয়া করে না।

বেকার আরও প্রমাণ করেছেন যে দীর্ঘ সময় ধরে চরমভাবে জলমুক্ত বা অনার্দ্র করলে পদার্থের ভৌতধর্মের পরিবর্তন ঘটে,—বাষ্পচাপ কমে যায়, পৃষ্ঠ টান ও স্ফুটনাংক বেড়ে যায়। আট বছর ধরে ফসফোরাস পেন্টঅক্সাইডের সাহায্যে শুষ্ক করা বেনজিনের স্ফুটনাংক, বেকার দেখিয়েছেন, 80° থেকে বেড়ে গিয়ে 106° হয়েছিল। মার্কারির ক্ষেত্রে স্ফুটনাংকের এই বৃদ্ধি 60° পর্যন্ত হতে পারে।

8.9. হফ্‌মানের পরীক্ষা ঃ

হফ্‌মানের পরীক্ষা যন্ত্রটি মূলতঃ একটি প্রশস্ত U-টিউব। এই U-টিউবের দুটি বাহুর মধ্যে একটির মুখ খোলা ও অন্যটি বন্ধ। এই U-টিউবের বন্ধ বাহুর দিকে মার্কারি অপসারণ করে 2 : 1 এই আয়তনিক অনুপাতে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন প্রবেশ করান হল। U-টিউবের যে বাহুটি বন্ধ তার উর্ধাংশে কাচ বিগলিত করে দুটি প্ল্যাটিনাম তারের প্রান্ত প্রবেশ করানো থাকে এবং এই বাহুটি আর একটি প্রশস্ততর টিউবের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে। এই প্রশস্ততর টিউবটি দিয়ে 132° তাপাংকে অ্যামাইল অ্যালকোহলের বাষ্প প্রেরণ করা হয়ে থাকে। তাপমাত্রা স্থির হলে U-টিউবের দুই বাহুর মার্কারির তল (level) সমান করার গ্যাসীয় মিশ্রণের আয়তন U-টিউবের বন্ধ অংশাঙ্কিত বাহুর থেকে জেনে নেওয়া হয়। এইবার U-টিউবেরমুক্ত অংশকে আঙুল দিয়ে চেপে আবেশ-কুণ্ডলীর সাহায্যে প্ল্যাটিনামের তারের মাধ্যমে বিদ্যুত-স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করলে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের বিক্রিয়া ঘটে। এখন U-টিউবের দুই বাহুর মার্কারি তলের সমতা সাধন করে আয়তন পরিমাপ করা হয়—এই আয়তন পূর্বের আয়তনের 2/3.



চিত্র নং ৯
হফম্যানের যন্ত্র

এরপর অ্যামাইল অ্যালকোহলের বাষ্পপ্রবাহ বন্ধ করে দিলে U-টিউবের এই অংশ ক্রমশঃ শীতল হতে থাকে ও স্টীম ঘনীভূত হয়ে জলে পরিণত হয়। দেখা

যায় যে মার্কারি ক্রমশঃ U-টিউবের এই বাহু পূর্ণ করে ফেলে। এর থেকেই বোঝা যায় যে বিস্ফোরণের পরে যে গ্যাস পূর্বের আয়তনের 2/3 অংশ জুড়ে আছে, তা হল স্টীমের।

কাজেই, হফ্‌মানের পরীক্ষা থেকে দেখা যাচ্ছে যে একই তাপমাত্রায় ও চাপে
2 আয়তন হাইড্রোজেন + 1 আয়তন অক্সিজেন = 2 আয়তন স্টীম।
অর্থাৎ অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুযায়ী—

2 অণু হাইড্রোজেন + 1 অণু অক্সিজেন = 2 অণু স্টীম
বা 1 অণু হাইড্রোজেন + $\frac{1}{2}$ অণু অক্সিজেন = 1 অণু স্টীম
∴ 2 পরমাণু হাইড্রোজেন + 1 পরমাণু অক্সিজেন = 1 অণু স্টীম
(কারণ অক্সিজেন ও হাইড্রোজেন উভয়েই দ্বি-পারমাণবিক)
সুতরাং জলের সংকেত হবে H_2O.

জলের বিশোষক : গলিত (fused) ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড, গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড, ফসফোরাস পেণ্টক্সাইড (P_2O_5), সিলিকাজেল ও ম্যাগনেশিয়াম পারক্লোরেট জলের বিশোষক। এদের মধ্যে শেষের দুটিই অন্যগুলির চেয়ে উৎকৃষ্টতর।

জলের অস্তিত্বের পরীক্ষা : কোনো কিছুর মধ্যে সামান্যতম পরিমাণে জলের অস্তিত্ব আছে কিনা তা' সাদা অনার্দ্র কপার সালফেটের সাহায্যে জানা যায়। সাদা অনার্দ্র কপার সালফেট জলের সংস্পর্শে এসে নীল হয়ে যায়।

জলের আয়তনিক ও তৌলিক সংযুক্তি

জলের আয়তনিক সংযুক্তি নিখুঁতভাবে পরিমিত হাইড্রোজেন (পর্যাপ্ত পরিমাণে ও অতিরিক্ত মাত্রায়) ও অক্সিজেনের জ্ঞাত পরিমাণ মিশ্রণকে বিস্ফোরিত করে ও অবশিষ্ট হাইড্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করে নির্ধারণ করা যেতে পারে। 1781 খৃষ্টাব্দে ক্যাভেণ্ডিসের গবেষণা থেকে জলে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের আয়তনিক অনুপাত নির্ণয় করা হয়েছিল H : O = 201 : 100। এরপর 1893 খৃষ্টাব্দে স্কট, 1895 খৃষ্টাব্দে মোরলে এই অনুপাত নির্ণয় করেন যথাক্রমে 200.285 : 100 ও 200.269 : 100. 1915 খৃষ্টাব্দে বার্ট ও এডগার 59টি পরীক্ষার ফলের থেকে গড় আয়তনিক অনুপাত নির্ধারিত করেন 200.288 : 100.

হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের ঘনত্ব হল যথাক্রমে 0.089873 ও 1.42900 গ্রাম প্রতি লিটার। কাজেই বার্ট ও এডগারের তথ্য (data) থেকে হিসাব করলে জলে অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের তৌলিক অনুপাত হবে :

$$\text{অক্সিজেন : হাইড্রোজেন} = \frac{1.42900}{2.00288 \times 0.089873} = 7.93868 : 1.$$

স্টীম বা জলীয় বাষ্পের আয়তনিক সংযুক্তি হফ্‌মানের পরীক্ষা থেকে নির্ণয় করা যেতে পারে।

৪.9 তৌলিক সংযুক্তি ঃ

তত্ত্ব ঃ—বিশুদ্ধ, তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের [CuO] উপর শুষ্ক হাইড্রোজেন চালনা করলে কিউপ্রিক অক্সাইড বিয়োজিত হয়ে কপার ও জলীয় বাষ্প সৃষ্টি করে। বিক্রিয়ার আগে কিউপ্রিক অক্সাইড ও পরে কপারের ওজন এবং বিক্রিয়ায় সৃষ্ট জলের ওজন যদি নির্ভুলভাবে নিরূপণ করা যায়, তাহলে তা থেকে জলে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের তৌলিক অনুপাত নির্ণয় করা যায়।

ডুমার পরীক্ষা ঃ 1842 খৃষ্টাব্দে ডুমা, স্টাসের সহযোগিতায় উপরোক্ত পদ্ধতির মাধ্যমে জলে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের তৌলিক অনুপাত নির্ণয় করেন। উনিশ বার পরীক্ষা করে প্রাপ্ত মানের গড় অনুপাত তারা নির্ণয় করেন ঃ—

অক্সিজেন : হাইড্রোজেন = 7.98 : 1 (ওজনের অনুপাত)
ডুমার পরীক্ষা পদ্ধতি নিচে দেওয়া হল ঃ—

একটি বায়ুশূন্য কাচের বাল্‌বে কিউপ্রিক অক্সাইড নিয়ে ওজন করা হল। এই কাচের বালবটি আবার পূর্ব থেকে ওজন করে রাখা আর একটি কাচের বালবের সাথে যোগ করা হল। দ্বিতীয় বালবের সাথে তিনটি U-টিউব সংযুক্ত করাহয়। এই তিনটি U-টিউবও আগের থেকে ওজন করা থাকে এবং প্রথমটিতে থাকে কস্টিক পটাশ এবং দ্বিতীয় ও তৃতীয়টিতে থাকে ফসফোরাস পেণ্টক্সাইড। শেষে একটি ফসফোরাস পেণ্টক্সাইড পূর্ণ U-টিউব লাগানো হয়। এই টিউবটির ওজন জানার প্রয়োজন নেই। এই টিউবটির কাজ হল বাতাস থেকে জলীয় বাষ্প যাতে ঢুকতে না পারে সেই ব্যবস্থা করা। জিংক ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ার জাত হাইড্রোজেনকে পরপর পাঁচটি U-টিউবের মধ্য দিয়ে চালনা করে বিশুদ্ধ করা হয়। এই U-টিউবগুলির মধ্যে থাকে যথাক্রমে (i) লেড নাইট্রেট দ্রবণ (ii) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ (iii) কঠিন কস্টিক পটাশ (iv) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও (v) গলিত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড।

উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের উপর দিয়ে হাইড্রোজেন গ্যাস চালিত করলে উভয়ের বিক্রিয়ার ফলে কপার ও জলীয় বাষ্প সৃষ্টি হয়। $CuO + H_2 = Cu + H_2O$. বিক্রিয়ার শেষে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে দ্বিতীয় বালবে কিছুটা জমা হয়; বাকিটা প্রথমোক্ত ৩টি U-টিউবে শোষিত হয়ে যায়। সমস্ত পরীক্ষা যন্ত্রকে প্রথমে হবইড্রোজেন গ্যাস প্রবাহ দিয়ে শীতল করার পর, যন্ত্রের অভ্যন্তর থেকে অতিরিক্ত হাইড্রোজেন বায়ুপ্রবাহের দ্বারা দূর করা হয়। দ্বিতীয় বাল্‌ব ও U-টিউব তিনটিকে এবং প্রথম বালবকে বায়ুশূন্য করে আবার ওজন করা হয়। প্রথম বাল্‌বের ওজনের হ্রাসপ্রাপ্তি থেকে জল উৎপন্ন করতে ব্যয়িত অক্সিজেনের পরিমাণ জানা যায়।

গণনা : ধরা যাক,

পরীক্ষার আগে প্রথম বাল্‌ব + কিউপ্রিক অক্সাইডের ওজন = W_1 গ্রাম
পরীক্ষার পরে প্রথম বাল্‌ব + কপারের ওজন = W_2 গ্রাম
পরীক্ষার পূর্বে দ্বিতীয় বাল্‌ব + U-টিউব তিনটির ওজন = W_3 গ্রাম
পরীক্ষার পর দ্বিতীয় বাল্‌ব + Uটিউব তিনটির ওজন + জলীয় বাষ্পের ওজন = W_4 গ্রাম

∴ অক্সিজেনের ওজন = $(W_2 - W_1)$ গ্রাম
এবং জলের ওজন = $(W_4 - W_3)$ গ্রাম
∴ হাইড্রোজেনের ওজন = $(W_4 - W_3) - (W_2 - W_1)$

অতএব $$\frac{\text{হাইড্রোজেনের ওজন}}{\text{অক্সিজেনের ওজন}} = \frac{(W_4 - W_3) - (W_2 - W_1)}{(W_2 - W_1)}$$

ডুমার পরীক্ষার ফল থেকে জানা গেছে যে এই অনুপাত হাইড্রোজেন : অক্সিজেন $= 1 : 7.98$

জলের সংকেত নির্ণয় : উক্ত পরীক্ষা থেকে দেখা গেল যে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের অনুপাত মোটামুটি ভাবে 1 : 8.

অতএব $$\frac{8}{1} = \frac{a \times \text{অক্সিজেনের পারমাণবিক ওজন}}{b \times \text{হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ওজন}}$$

$\frac{a}{b}$ = জলের অণুতে অক্সিজেন ও হাইড্রোজেন পরমাণুর অনুপাত

$$\therefore \frac{8}{1} = \frac{a}{b} \times \frac{16}{1} \quad \text{বা} \quad \frac{a}{b} = \frac{1}{2}$$

অর্থাৎ জলের সংকেত হবে H_2O। বাষ্পীয় ঘনত্বের উপাত্ত থেকেও এই তথ্য সমর্থিত হয়। তা আগেই আলোচনা করা হয়েছে।

8.10 সোদক লবণ :

সোদক লবণগুলিতে জলের অণু অনেক ভাবে বর্তমান থাকতে পারে। যেমন (i) কো-অর্ডিনেটেড ওয়াটার বা সমযোজিত জল (ii) অ্যানায়নীয় জল (iii) ল্যাটিস্ (Lattice) জল ও (iv) জিওলাইট জল

(i) **কো-অর্ডিনেটেড্ জল :** অনেক জটিল যৌগের আয়নে কেন্দ্রস্থ ধাতুর সাথে 4টি বা 6টি জলের অণু সংবদ্ধ থাকে। 2 থেকে 3 একক পজিটিভ চার্জ যুক্ত ক্ষুদ্রতর আয়নীয় ব্যাসার্দ্ধসম্পন্ন ক্যাটায়নগুলির ক্ষেত্রেই এই প্রবণতা বিশেষভাবে দেখা যায়। যেমন

$[Co(H_2O)_6]Cl_3$, $[Be(H_2O)_4]SO_4$, $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$ ইত্যাদি।

যে সব সোদক লবণে কেলাস জল থাকে, সেই কেলাস জলও ধাতুর পরমাণুর সাথে ক্ষীণ স্থির তড়িতাকর্ষণের (electrostatic attraction) ফলে সংবদ্ধ থাকে। যেমন

$[Li, 3H_2O]ClO_4$, $[Ca, 2H_2O]SO_4$, $[R, 6H_2O][ClO_4]_2$ ইত্যাদি।
R = Mg, Zn, Mn, Fe, Co ও Ni.

এই লবণগুলি পরস্পর সমাকৃতিক।

(ii) **অ্যানায়নীয় জল**ঃ জলের এই ধরণের অবস্থিতি (occurrence) সচরাচর থাকে না। তবে দৃষ্টান্ত হিসাবে উল্লেখ করা যেতে পারে যে $CuSO_4, 5H_2O$ যৌগে অনুস্থিত জল হাইড্রোজেন বন্ধনের সাহায্যে ক্যাটায়ন অপেক্ষা অ্যানায়নের সাথেই অধিকতর সংবদ্ধ। কপার (II) সালফেট পেন্টাহাইড্রেটে পাঁচটি জলের অণুর মধ্যে চারটি কপার পরমাণুর সাথে কো-অর্ডিনেট বন্ধনে যুক্ত, পঞ্চমটি দুটি হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা সালফেট আয়নের সাথে ও একই সাথে অন্য হাইড্রোজেন বন্ধনের সাহায্যে অপর দুটি কো-অর্ডিনেটেড জলের অণুর সাথে যুক্ত।

তাই উত্তাপের সাহায্যে নিরুদন (dehydration) করলে পর্যায়ক্রমে প্রথমে $CuSO_4, 3H_2O$, তারপর $CuSO_4, H_2O$ হয় ও শেষ জলের অণুটি বেরিয়ে যায় 200° থেকে 300° তাপমাত্রায়।

অ্যানায়নীয় জলসম্পন্ন যৌগের অন্য উদাহরণ হল $NiSO_4, 7H_2O$ ও $ZnSO_4, 7H_2O$.

(iii) **ল্যাটিস জল**ঃ কোনো কোনো কেলাসে রাসায়নিকপাতিক হারে জল বর্তমান থাকতে পারে। এই জল কেলাস-ল্যাটিসে নির্দিষ্ট স্থান অধিকার করে থাকে কিন্তু কোন নির্দিষ্ট ক্যাটায়ন বা অ্যানায়নের সাথে যুক্ত থাকে না। এই ধরণের অবস্থার সৃষ্টি হতে পারে—(1) ক্যাটায়ন বা অ্যানায়ন কোনোটিরই যদি জলের অণু আকর্ষণ করার প্রবণতা না থাকে। (2) যদি আয়নগুলি নিজেদের সঙ্গে যতগুলি জলের অণু সংবদ্ধ করতে পারে তার চেয়েও জলের অণুর সংখ্যা বেশী থাকে। প্রথম ক্ষেত্রের উদাহরণ হল, $[Cr(H_2O)_5Cl]Cl_2, H_2O$; $[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl, 2H_2O$। এক্ষেত্রে H_2O ও $2H_2O$ হ্যালাইড আয়নের সাথে যুক্ত নয়, কাজেই এদের ল্যাটিস জল বলাই শ্রেয়।

দ্বিতীয় ক্ষেত্রের উদাহরণ হল বিভিন্ন অ্যালামগুলি যাদের সংকেত হল $M_1^{I} M_2^{III} (SO_4)_2, 12H_2O$. এখানে ছ'টি জলের অণু ত্রিযোজী M_1^{III}-এর সাথে কোঅর্ডিনেট বন্ধনে যুক্ত হয়ে অষ্টতলকীয় ভাবে বিন্যস্ত রয়েছে, আর বাকী ছ'টি রয়েছে একযোজী M_1^{I}-এর চতুষ্পার্শ্বে অষ্টতলকীয় ভাবে বিন্যস্ত। কিন্তু একটা সুনির্দিষ্ট বন্ধনের সৃষ্টি হতে গেলে ধাতুর পরমাণু ও জলের অণুর মধ্যে যে ন্যূন দূরত্ব থাকা প্রয়োজন এ ক্ষেত্রে দূরত্ব তার চেয়ে বেশী।

(iv) **জিওলাইট জল :** কেলাস-ল্যাটিসের বিভিন্ন স্তরের মাঝে মাঝে ও ফাঁকে অনেক সময় জল থাকে ও এই জল মোটামুটিভাবে অনির্দিষ্টভাবে বিন্যস্ত। এদের উত্তপ্ত করলে জলের অণুগুলি নির্গত হতে থাকে বটে কিন্তু কোনটা কিভাবে নির্গত হবে তার কোনো ধরাবাঁধা নিয়ম নেই। উত্তাপের ফলে জল বেরিয়ে গেলে কেলাসের অণুগুলি ক্রমশঃ নিবিড় হয়ে ওঠে কিন্তু এর ফলে কেলাসের জ্যামিতিক আকৃতির কোনো পরিবর্তন ঘটে না। বিভিন্ন প্রাকৃতিক ও সংশ্লেষিত জিওলাইট এর উদাহরণ। আর একটি উদাহরণ হল $Cr_2(SO_4)_3$, $15H_2O$.

প্রশ্নাবলী

1. অস্থায়ী ও স্থায়ী খরতা বলতে কি বোঝ? কি ভাবে জলের মোট খরতা EDTA-এর দ্বারা নির্ণয় করা যায়? পারমুটিট পদ্ধতির সাহায্যে জলকে মৃদু করার প্রণালী বর্ণনা কর।
What do you understand by temporary and permant hardness? How can the total hardness of water be determined by EDTA. Describe the permutit process of water softening.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 8.2 8.5, ও 8.4 দেখ]

2. বয়লারের জন্য ব্যবহার্য জল কি প্রকারের হওয়া উচিত? আয়ন নির্মুক্ত জল ও কনডাকটিভিটি জল কি ভাবে প্রস্তুত করা হয়।
What kind of water is suitable for boilers? How can deionised water and conductivity water be prepared?
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 8.6, 8.4 দেখ]

3. টীকা লেখ :
(ক) ক্যালগন পদ্ধতি (খ) পারমুটিট পদ্ধতি ও (গ) স্থায়ী খরতা দূর করবার আয়ন বিনিময়ী পদ্ধতি।

Write notes on :

(a) Calgon Process (b) Permutit process (c) and Ion-exchange resin for romoving permanent hardness.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 8.6 দেখ।

4. পানের উপযোগী হতে গেলে জলের কি কি বৈশিষ্ট্য থাকা আবশ্যক। কি কি ভাবে পানীয় জলকে জীবাণুমুক্ত করা যায়?
What should be the criteria of water to be used for drinking purpose? How is drinking water sterilised?
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 8·6 দেখ।]

5. রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমীকরণ সমেত জলের সাথে নিম্নলিখিত পদার্থগুলির বিক্রিয়া লেখ : (ক) সোডিয়াম পারক্সাইড (খ) ফসফোরাস পেন্ট অক্সাইড (গ) ক্যালসিয়াম কারবাইড (ঘ) সোডিয়াম (ঙ) ক্যালসিয়াম হাইড্রাইড।

Write with chemical equations the reaction of water with (a) Sodium peroxide (b) phosphorus pentoxide (c) calcium carbide (d) sodium (e) calcium hydride.

[সংকেত : অনুচ্ছেদ 8.7 দেখ]

6. টীকা লেখ : (ক) কো-অর্ডিনেটেড জল, (খ) অ্যানায়নীয় জল (গ) ল্যাটিস জল (ঘ) জিওলাইট জল।

Write notes on :

(a) Co-ordinated water (b) Anionic water (c) Lattice water (d) Zeolite water.

[সংকেত : অনুচ্ছেদ 8.10 দেখ]

নবম অধ্যায়

ওজোন
(Ozone)

আণবিক সংকেত O_3 ; স্ফুটনাংক $-112\cdot4°$; গলনাংক $-249\cdot7°$; দ্রাব্যতা $0°$ তাপাংকে 100 আয়তন জলে 49 আয়তন।

9·1a আবিষ্কার ঃ

1785 খৃষ্টাব্দে ভ্যান মারুম একটি ইলেকট্রোস্ট্যাটিক মেশিন নিয়ে কাজ করার সময় সন্নিহিত বাতাসে মাছের মত গন্ধ থেকে প্রথম এর সন্ধান পান। 1840 খৃষ্টাব্দে শোঁনবাইন (যিনি এর ওজোন নামকরণ করেন) প্রমাণ করেন যে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের তড়িত বিশ্লেষণের সময় ওজোন উৎপন্ন হয়। পরে 1866 খৃষ্টাব্দে সোরেট প্রতিপন্ন করেন যে ওজোন তিনটি অক্সিজেন অণু নিয়ে গঠিত এবং এর আণবিক সংকেত O_3।

9·1b প্রাপ্তি বা অবস্থান ঃ

ঊর্ধ বায়ুমণ্ডলের নিয়ত তড়িতমোক্ষণের জন্য (silent eletric discharge) এবং সূর্য থেকে আসা অতিবেগনী রশ্মির প্রভাবে বায়ুমণ্ডলের আক্সিজেনের সামান্য কিছুটা অংশ ওজোন-এ রূপান্তরিত হয়ে থাকে। এই অতিবেগনী রশ্মির প্রভাবে, বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেনের আলোকরাসায়নিক বিয়োজন ঘটে এবং এই বিয়োজিত পরমাণুগুলি অন্যান্য অক্সিজেন অণুগুলির সাথে ত্রি-বস্তু সংঘর্ষ (Three body collision) ঘটাবার ফলে ওজোন সৃষ্ট হয়। $O_2+O=O_3+24$ কি. ক্যালোরি। এই ভাবে সৃষ্ট ওজোনের কতকগুলি অণুর আবার আলোক রাসায়নিক বিয়োজন ঘটে এবং এই বিয়োজিত অণুর কতকগুলি আবার অক্সিজেন পরমাণুর সাথে মিলিত হয়ে O_3 গঠন করে। এইভাবে যুগপৎ গঠন ও বিয়োজনের ফলে বায়ুমণ্ডলে এর পরিমাণের একটা নির্দিষ্টতা বজায় থাকে। জানা গেছে ভূপৃষ্ঠ থেকে 25 কিলোমিটার উচ্চতায় ওজোনের পরিমাণ সর্বাধিক। এ ছাড়াও কোয়ার্টজ মার্কারী ভেপার ল্যাম্পের কাছে পরিমাপযোগ্য পরিমাণে, জলের সঙ্গে ফ্লোরিনের বিক্রিয়ায়, পটাশিয়াম পারমাঙ্গানেট বা ডাইক্রোমেটের মতো অক্সিজেনে সমৃদ্ধ যৌগের সালফিউরিক আসিড দিয়ে বিয়োজনের সময় বা বাতাসে রেখে দেওয়া সাদা ফসফরাসের জারণের সময়ও ওজোন উৎপাদিত হয়।

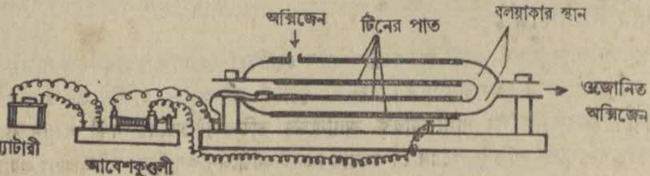
9.2. প্রস্তুতি ঃ বিশুদ্ধ ওজোন তৈরী করা আয়াসসাধ্য হলেও, অপেক্ষাকৃত সহজে ওজোনিত অক্সিজেন তৈরী করা সম্ভব। বিশুদ্ধ শুষ্ক অক্সিজেনের মধ্য দিয়ে নীরব তড়িতমোক্ষণ (Silent electric discharge) প্রেরণ করে ওজোনিত অক্সিজেন তৈরী করা হয়। $3O_2 \rightleftharpoons 2O_3 - 2\times34$ কি. ক্যালোরি। এতে অক্সিজেন আংশিকভাবে ওজোন-এ রূপান্তরিত হয়ে যায়।

এই রূপান্তর তাপগ্রাহী (endothermic); কাজেই উচ্চ তাপমাত্রা ওজোন উৎপন্ন হবার পক্ষে অনুকূল। কিন্তু যেহেতু উচ্চ তাপমাত্রায় (প্রকৃতপক্ষে 200° তাপাংকের ঊর্ধেই) ওজোনের বিয়োজন খুব সহজেই ঘটে, তাই উচ্চ তাপমাত্রায় ওজোন তৈরী হওয়া মাত্রই একে দ্রুত শীতল করতে হয়। স্পার্ক ডিসচার্জের ফলে উদ্ভূত তাপ ওজোনকে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত করে ফেলে বলেই সাইলেণ্ট ইলেকট্রিক ডিসচার্জ ব্যবহার করা হয়। যে পথ দিয়ে ইলেকট্রিক স্পার্ক প্রেরণ করা হবে তার মাঝে কাচ

বা ওই জাতীয় কিছু অন্তরক (Insulator) স্থাপন করে সাইলেণ্ট ডিসচার্জের সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম স্ফুলিঙ্গ কণার সৃষ্টি করা হয় এবং এর ফলে একস্থানিক তাপের প্রভাব (Influence of local heat) এড়ানো যায়। ওজোনাইজারকে (Ozoniser) 0°-তে শীতল ক'রে ও স্ফুলিঙ্গের তাপ প্রভাব কমিয়ে শতকরা 50 ভাগ অক্সিজেনকে ওজোনে পরিণত করা যেতে পারে।

সীমেন্স-এর ও ব্রডি-র — দু'ধরনের ওজোনাইজার আছে।

(i) **সীমেন্স-এর ওজোনাইজার :**

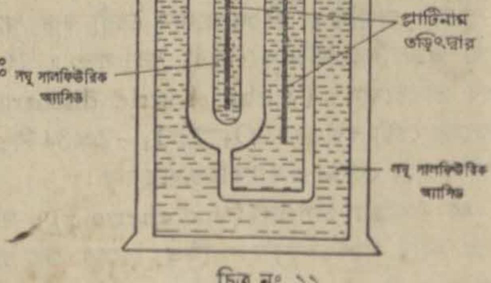


চিত্র নং ১০
সীমেন্স ওজোনাইজার

এটি দু'টি সমাক্ষীয় (co-axial) কাচের টিউব দ্বারা গঠিত। বাইরের টিউবের বাইরের অংশ ও ভিতরের টিউবের ভিতরের অংশটি টিনের পাত দিয়ে ঢাকা থাকে। দু'য়ের ভিতরের বলয়াকার অংশে বিশুদ্ধ শুষ্ক অক্সিজেনের এক প্রবাহ ধীরে ধীরে চালনা করা হয়। টিনের পাতগুলি আবেশকুণ্ডলীর দুই প্রান্তে যোগ করে বলয়াকার অংশের মধ্য দিয়ে Silent electric discharge প্রেরণ করা হয়। এর ফলে ভিতরের অক্সিজেন ওজোনিত হয়—রূপান্তর ঘটে শতকরা 10 ভাগ। নির্গমপথ দিয়ে বেরিয়ে আসা গ্যাসে সিক্ত স্টার্চ-আয়োডাইড কাগজ ধরলে তা নীল হয়ে যায়। এ থেকে গ্যাসে ওজোনের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়।

(ii) **ব্রডির ওজোনাইজার :**

এটি দু'টি সমকেন্দ্রিক কাচের নল দিয়ে গঠিত। মাঝের নলটির নিচের দিকটি বন্ধ ও এটি বাইরের বড় নলটির মধ্যে সীল করা থাকে। ভিতরের নলটি লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে



চিত্র নং ১১
ব্রডির ওজোনাইজার

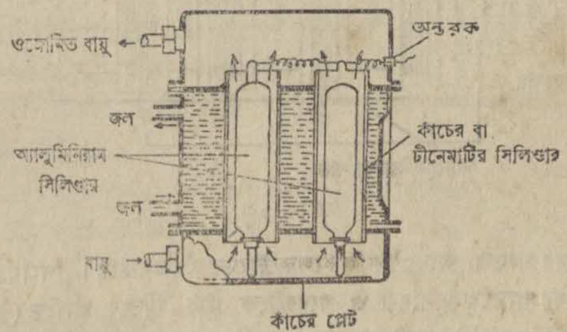
পূর্ণ করা থাকে ও বাইরের নলটি একটি বড় পাত্রে স্থিত লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড

ও বরফের মিশ্রণের মধ্যে ডোবানো থাকে। দুই নলের মধ্যবর্তী বলয়াকার অংশের মধ্য দিয়ে বিশুদ্ধ শুষ্ক অক্সিজেন গ্যাসের একটি প্রবাহ ধীরে ধীরে প্রেরণ করা হয় এবং আবেশকুণ্ডলীর সাথে যুক্ত দুই প্ল্যাটিনাম ইলেকট্রোডের মাধ্যমে সাইলেন্ট ইলেকট্রিক ডিসচার্জ প্রেরণ করা হয়। শতকরা 20 ভাগ অক্সিজেন ওজোনে পরিণত হয়।

বিশুদ্ধ ওজোন :

ওজোনিত অক্সিজেনকে তরল বায়ুতে শীতল করা টিউবের মধ্য দিয়ে চালিত করলে ওজোন তরলায়িত হয় এবং এক গাঢ় নীল তরল পাওয়া যায় ; এই তরল হল তরল অক্সিজেনে ওজোনের দ্রবণ। এই দ্রবণকে আংশিক পাতন (Fractional dislillation) ও একই সঙ্গে অতিরিক্ত অক্সিজেনকে পাম্প করে দূর করলে ঘননীল বিশুদ্ধ তরল ওজোন পাওয়া যায়। তরল ওজোনকে খুব সতর্কতার সঙ্গে বাষ্পায়িত করলে গাঢ় নীল গ্যাসীয় ওজোন প্রচণ্ডভাবে বিস্ফোরিত হয়।

শিল্প-পদ্ধতি : 1. সীমেন্স ও হাল্‌স্‌কে-এর ওজোনাইজার :



সীমেন্স ও হাল্‌স্‌কে ওজোনাইজারে সাইলেন্ট হাই টেনশন ইলেকট্রিক ডিসচার্জের দ্বারা শুষ্ক বাতাসের অক্সিজেনকে ওজোনে পরিণত করা হয়। এই ওজোনাইজার এক সারি (সাধারণতঃ 6 থেকে 8টি) ওজোন টিউব নিয়ে গঠিত। প্রত্যেকটি ওজোন টিউব একটি কাচ বা পোর্সিলেনের সিলিণ্ডার ও এই কাচ বা পোর্সিলেনের সিলিণ্ডারকে বেষ্টন করে থাকা একটি অ্যালুমিনিয়ামের সিলিণ্ডার দ্বারা রচিত। এই সিলিণ্ডারগুলি লম্বভাবে একটি লোহার ট্যাংকের মধ্যে সাজানো থাকে এবং এই লোহার ট্যাংকটি ভূ-সংযুক্ত (earthed) থাকে। এই ট্যাংকের ভিতর দিয়ে শীতল জলের প্রবাহের সাহায্যে সিলিণ্ডারগুলিকে ঠাণ্ডা করে রাখা হয়। অ্যালুমিনিয়াম সিলিণ্ডারগুলি পরিবর্তী বিদ্যুত প্রবাহের (Alternating Current) উৎসের সঙ্গে যুক্ত করে দেওয়া থাকে এবং বিভবের অন্তর থাকে 8-থেকে 10 হাজার ভোল্ট। শুষ্ক বাতাস বা অক্সিজেন তলার দিক থেকে প্রবেশ করিয়ে ওজোন টিউবের মধ্য দিয়ে চালিত করা হয় এবং ওজোনাইজারের উপরের অংশে নির্গম নল দিয়ে ওজোনিত

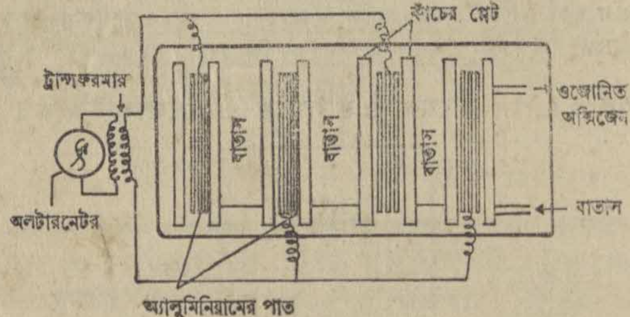
অক্সিজেন বেরিয়ে আসে। অক্সিজেনকে সার্থকভাবে ওজোনে রূপান্তরিত করতে হলে কয়েকটি সর্তকতা অবলম্বন করা প্রয়োজন।

(i) পুরোপুরি শুষ্ক ও সম্পূর্ণ ধূলিকণাহীন বাতাস ব্যবহার করতে হবে।

(ii) তাপমাত্রা যতটা সম্ভব কম রাখতে হবে।

(iii) বিদ্যুতস্ফুলিঙ্গ বা স্পার্কের সৃষ্টি যাতে না হয় সেদিকে তীক্ষ্ণ দৃষ্টি রাখতে হবে।

2. শিল্পে ব্যবহৃত অন্য এক পদ্ধতিতে (Ozonair system of ozoniser) ওজোনাইজারটিতে একটি আধারে কতকগুলি অভ্রের পাত সারি সারি ভাবে সাজানো থাকে। এই পাতগুলির দুদিকে থাকে অ্যালুমিনিয়ামের পাতলা আবরণ। এই



চিত্র নং ১৩

অ্যালুমিনিয়ামের পাতলা আবরণীগুলি ইলেকট্রোডের কাজ করে। পর্যায়ক্রমে একটি অ্যালুমিনিয়ামের পাতকে ভূসংযুক্ত ও পরেরটিকে উচ্চ বিভবে আহিত (Charged to high potential) করে আধারের মধ্য দিয়ে অভ্রের পাতগুলির সমান্তরালভাবে বাতাস বা অক্সিজেন প্রবাহিত করা হয়। এর ফলে বাতাস বা অক্সিজেনের উপর হাই টেনশন ডিসচার্জের ফলে ওজোন উৎপাদিত হয়। এক্ষেত্রে জল দিয়ে ঠাণ্ডা করার কোন প্রয়োজন পড়ে না এবং অ্যালুমিনিয়ামের পাতলা আবরণী স্ফুলিঙ্গহীন ডিসচার্জের সহায়তা করে।

9.3 ওজোন অন্য যে সব বিক্রিয়ায় তৈরী হয় :

1. জলের সাথে নিম্নতাপাংকে ফ্লোরিনের বিক্রিয়ায় :

$$3H_2O+3F_2=6HF+O_3$$

2. হাইড্রোজেন পারক্সাইডের বিয়োজন করে বা সালফার ডাই অক্সাইড ও হাইড্রোজেন পারক্সাইডের বিক্রিয়ায়,

3. 130° তাপাংকে পার আয়োডিক অ্যাসিডের তাপ বিয়োজন বিক্রিয়ায় আর্দ্র বাতাসে সাদা ফসফোরাসের বা টারপেনটাইন তেলের ধীর জারণে,

4. নিম্ন তাপাংকে সোডিয়াম বা ম্যাগনেশিয়াম পারক্লোরেট সমন্বিত পারক্লোরিক অ্যাসিডের ইউটেক্টিক মিশ্রণের ($-50°$) অ্যানোডীয় জারণ দ্বারা,

5. অ্যামোনিয়াম পারক্সিডাই সালফেটের সাথে নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উপজাত হিসাবে।

9.4 ধর্ম ঃ

1. ওজোন একটি নীলাভ গ্যাস ; বাষ্প ঘনত্ব থেকে জানা গেছে এর আণবিক সংকেত হবে O_3। শীতল করলে নীল ডায়াম্যাগনেটিক (তিরশ্চুম্বকধর্মী) তরলে পরিণত হয় (স্ফুটনাংক $-112.°4$) এবং আরও শীতল করলে বেগনী-কালো রঙের কঠিন কেলাস পাওয়া যায় (গলনাংক $-193\pm0.5°$)। সন্ধি তাপমাত্রা ও চাপ হল যথাক্রমে $-5°$ ও 92.3 অ্যাটমস্ফিয়ার। অক্সিজেনের চেয়ে জলে বেশী দ্রবণীয়।

2. রাসায়নিক দিক থেকে ওজোনের মুখ্য বৈশিষ্ট্য হল (1) ইথিলিনীয় দ্বি-বন্ধে যুক্ত হবার ক্ষমতা (ii) জারণ ক্ষমতা ও (iii) নিচের সমীকরণে প্রদর্শিত উপায়ে আণবিক অক্সিজেনে পরিণত হওয়া।

$$O_3 \rightleftarrows 3/2O_2 + 34 \text{ কি. ক্যালোরি}$$

জারণ বিক্রিয়া ঃ

ওজোনের জারণ-ক্ষমতা নিচের বিক্রিয়াযুগল থেকে স্পষ্ট।

$$O_2 + H_2O \rightleftarrows O_3 + 2H^+ + 2e \qquad E_0 = -2{\cdot}07 \text{ ভোল্ট}$$

$$O_2 + 2OH^- \rightleftarrows O_3 + 2H_2O + 2e \qquad E_0 = -1{\cdot}24 \text{ ভোল্ট}$$

এর থেকে বোঝা যায় আম্লিক দ্রবণে ওজোনের চেয়ে শক্তিশালী জারক হল ক্লোরিন ও অক্সিজেন ডাই ক্লোরাইড, পারমাণবিক অক্সিজেন বা হাইড্রক্সিল মূলক এবং ক্ষারীয় দ্রবণে একমাত্র হাইড্রক্সিল মূলক। অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রাইট বা নাইট্রেট, আর্দ্র সালফার ও আয়োডিন থেকে যথাক্রমে সালফিউরিক ও আয়োডিক অ্যাসিড, একযোজী সিলভার থেকে দ্বি-বা ত্রি-যোজী সিলভার প্রভৃতি বহু জারণ বিক্রিয়া ওজোন দ্বারা সংঘটিত হয়। নিচে ওজোনের জারণ বিক্রিয়ার কিছু উদাহরণ দেওয়া হল।

(ক) $PbS + 4O_3 = PbSO_4 + 4O_2$; $NaNO_2 + O_3 = NaNO_3 + 2O_2$

$3SO_2 + O_3 = 3SO_3$; $2Hg + O_3 = Hg_2O + O_2$

মার্কারি ওজোনের সাথে বিক্রিয়ার ফলে Hg_2O গঠন করে ; এর ফলে এর উজ্জ্বলতা ও সচলতা (mobility) হ্রাস পায়। (সোনা ও প্ল্যাটিনাম ছাড়া প্রায় সব ধাতুই ওজোনের সাথে ধাতব অক্সাইড গঠন করে)। মার্কারির সাথে ওজোন মিশিয়ে একটি কাচের প্লেটের উপর গড়িয়ে দিলে মার্কারির ফোঁটাটি যে পথে গেছে তা বরাবর একটি "পুচ্ছ" (tail) সৃষ্টি হয়।

(খ) আম্লিক মাধ্যমে জারণ বিক্রিয়ার উদাহরণ :

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + O_3 = Fe_2(SO_4)_3 + H_2O + O_2$$
$$2KI + 2HCl + O_3 = 2KCl + I_2 + H_2O + O_2$$
$$3SnCl_2 + 6HCl + O_3 = 3SnCl_4 + 3H_2O$$
$$2HCl + O_3 = Cl_2 + H_2O + O_2$$

(গ) এছাড়া,

$$2I_2 \text{ (শুষ্ক) } + 9O_3 = I_4O_9 + 9O_2$$
$$I_2 \text{ (আর্দ্র) } + 5O_3 + H_2O = 2HIO_3 + 5O_2$$
$$O_3 + KI + H_2O = 2KOH + O_2 + I_2$$

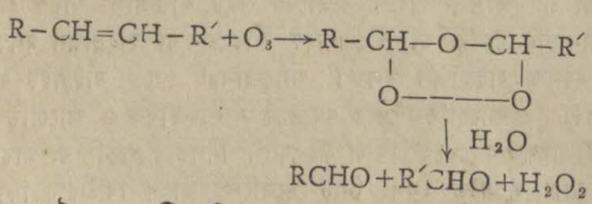
পটাশিয়াম আয়োডাইডের সঙ্গে ওজোনের যে বিক্রিয়ায় আয়োডিন নির্মুক্ত হয় তা প্রশম-মাধ্যমে হলেও বিক্রিয়াশেষে মাধ্যমটি ক্ষারীয় হয়ে যায়।

(ঘ) ওজোনের দ্বারা বিরঞ্জন জারণের জন্যই হয়।

বিজারণ বিক্রিয়া : হাইড্রোজেন পারক্সাইড, বেরিয়াম পারক্সাইড প্রভৃতি যৌগের সাথে বিক্রিয়ায় ওজোন বিজারক হিসাবে কাজ করে। কিন্তু পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট বা পারম্যাঙ্গানেটের সাথে এর কোনো বিক্রিয়া ঘটে না।

$$BaO_2 + O_3 = BaO + 2O_2 \; ; \quad H_2O_2 + O_3 = H_2O + 2O_2$$

ইথিলিনীয় দ্বিবন্ধের সঙ্গে সংযুক্তি : ওজোন অসম্পৃক্ত জৈব যৌগের দ্বিবন্ধে যুক্ত হয়ে ওজোনাইড গঠন করে। জল দিয়ে ওজোনাইডকে আর্দ্রবিশ্লেষিত করলে যৌগের যেখানে দ্বিবন্ধ ছিল সেখানে যৌগটি ভেঙ্গে যায়। অধিকাংশ ক্ষেত্রে H_2O_2 উৎপন্ন হয়।

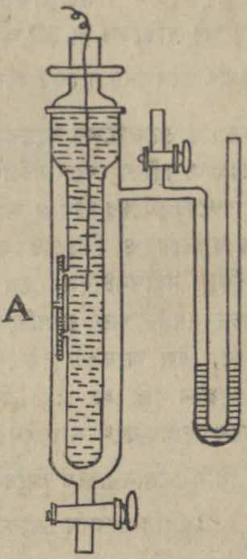


অনুঘটক প্রভাবিত বিয়োজন : সোনা, রূপা বা প্ল্যাটিনামের মত ধাতুর প্রভাবে O_3 – এর অনুঘটক প্রভাবিত বিয়োজন ঘটে। সব ক্ষেত্রেই অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। মধ্যবর্তী পর্যায়ে গঠিত ধাতব অক্সাইড পুনরায় বিয়োজিত হবার ফলে ধাতু ও অক্সিজেন পাওয়া যায়।

$$2Ag + O_3 = Ag_2O + O_2$$
$$Ag_2O + O_3 = 2Ag + 2O_2$$

1922 খৃষ্টাব্দে রিজেনফেল্ড, ডুমার পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ ওজোনের বাষ্পঘনত্ব 24 নির্ণয় করেন। এ থেকেও ওজোনের সংকেত O_3 হবে প্রমাণিত হয়।

9 5a নিউথ-এর যন্ত্র ঃ ওজোনের আয়তনিক সংযুতি নিউথের পরীক্ষার দ্বারা নির্ণীত হয়েছিল। নিউথের এই পরীক্ষার যন্ত্র দুটি সমকেন্দ্রিক কাচের টিউব দিয়ে গঠিত—একটি টিউবের মধ্যে আর একটি স্থাপিত এবং এদের মাথার দিক ঘসা কাচের সন্ধি (joint) দিয়ে জোড়া। মাঝের টিউবটি বাইরের টিউবটির ঢাকনা হিসাবেও কাজ করে। মাঝের টিউবটি লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে পূর্ণ থাকে এবং এর মধ্যে একটি প্ল্যাটিনামের তার নিমজ্জিত থাকে। বাইরের অপেক্ষাকৃত বড় টিউবটি একটি সালফিউরিক অ্যাসিড ম্যানোমিটারের সাথে সংযুক্ত। ম্যানোমিটারের সালফিউরিক অ্যাসিড কারমিন রেডের সাহায্যে লাল রং করা থাকে। কাচের টিউবটি বরফ ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণে ডোবানো থাকে। এবং এই মিশ্রণের মধ্যেও একটি প্ল্যাটিনামের তার নিমজ্জিত থাকে।



চিত্র নং ১৪
নিউথ-এর যন্ত্র

দুই কাচের টিউবের মধ্যস্থ বলয়াকার অংশ বিশুদ্ধ অক্সিজেনে পূর্ণ থাকে এবংএখানেই টারপেনটাইন তেলে পূর্ণ আর একটি ছোট পাতলা কাচের টিউবও থাকে। প্ল্যাটিনাম তার দুটি আবেশকুণ্ডলীর দুই প্রান্তে যোগ করে বলয়াকার অংশের মধ্য দিয়ে silent electric discharge প্রেরণ করা হয়। কয়েক ঘণ্টা এভাবে চলবার পর যখন আর কোনরকম আয়তনিক সংকোচন হয় না তখন ম্যানোমিটারের নির্দেশ দেখা হয়। এর পর টারপেনটাইন তেলে পূর্ণ কাচের টিউবটিকে ভেঙ্গে ফেলা হয় ও টারপেনটাইন কর্তৃক ওজোন শোষিত হবার ফলে আয়তন হ্রাস পায়। হ্রাসের পরিমাণও ম্যানোমিটার থেকে জেনে নেওয়া হয়। দ্বিতীয় দফার এই সংকোচন হয় প্রথম বারের দ্বিগুণ।

গণনা ঃ ধরা যাক, (i) ওজোন তৈরী হবার জন্য সংকোচন = Vc.c.

(ii) শোষণের জন্য সংকোচন = 2Vc.c

সুতরাং (iii) অক্সিজেনের অন্তর্ধান (বা বিক্রিয়ার ফলে অক্সিজেন ব্যয়িত হবার জন্য) আয়তনিক সংকোচন = 3Vc.c

(iv) গঠিত ওজোনের আয়তন = 2Vc.c

অর্থাৎ 3V আয়তন অক্সিজেন থেকে 2V আয়তন ওজোন হয়েছে এবং এর ফলে

আয়তন হ্রাস পেয়েছে (3V − 2V = V) V আয়তন বা 2 আয়তন ওজোন = 3 আয়তন অক্সিজেন। অ্যাভোগাড্রোর সূত্র থেকে

2 অণু ওজোন পাওয়া যায় 3 অণু অক্সিজেন থেকে, বা 1 অণু ওজোন পাওয়া যায় $1\frac{1}{2}$ অণু অক্সিজেন বা 3টি অক্সিজেন পরমাণু থেকে।

অর্থাৎ ওজোনের সংকেত হবে O_3.

9·5b. ওজোনের সংকেত ও সংযুক্তি : ওজোনের সংকেত সোরেট দুই পর্যায়ের এক পরীক্ষা থেকে সর্বপ্রথম সপ্রমাণ করেন। প্রথম পর্যায়ের পরীক্ষাতে দুটি একই রকমের ফ্লাস্কের দীর্ঘ ও অংশাঙ্কিত গলা জলের তলায় নিমজ্জিত করে রাখা ছিল। ফ্লাস্কের বাইরের ও ভিতরের জলের তল এক সমতলে আনবার পর একটি ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু টারপেনটাইন তেল প্রবেশ করান হল। এর ফলে সেখানে আয়তনের সংকোচন হল। অন্য ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করে সমস্ত ওজোনকে অক্সিজেনে পরিণত করা হল, এবং আয়তন বৃদ্ধি পেল। সংকোচনের আয়তনকে যদি x সিসি ধরা হয় তবে আয়তন বৃদ্ধি হয় x/2 সিসি। অর্থাৎ টারপেনটাইন তেলের শোষণজনিত সংকোচন তাপের ফলে আয়তনের প্রসারণের দ্বিগুণ, অর্থাৎ

x সিসি ওজোন ভেঙ্গে গিয়ে $x + x/2$ সিসি অক্সিজেন হচ্ছে

∴ 1 সিসি ওজোন থেকে পাওয়া যায় $1\frac{1}{2}$ সিসি অক্সিজেন

সুতরাং অ্যাভোগাড্রোর সূত্র থেকে,
1 অণু ওজোন থেকে $1\frac{1}{2}$ অণু অক্সিজেন বা 3টি অক্সিজেন পরমাণু পাওয়া যায়।

সুতরাং 1 অণু ওজোন = 3টি অক্সিজেন পরমাণু
বা ওজোনের সংকেত O_3.

দ্বিতীয় পর্যায়ের পরীক্ষার মাধ্যমে সোরেট তার পূর্বোক্ত সিদ্ধান্তকে আরও নিশ্চিত ও দৃঢ়ভাবে সপ্রমাণ করলেন। এক্ষেত্রে তিনি ওজোনিত অক্সিজেন এবং অক্সিজেন মিশ্রিত ক্লোরিন গ্যাসের আপেক্ষিক ব্যাপন হার অনুধাবন করে গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রের সাহায্যে ওজোনের আপেক্ষিক ঘনত্ব ও তার আণবিক ওজন নির্ণয় করেন। কিন্তু ব্যাপনের চিরাচরিত পদ্ধতি এখানে অনুসরণ করা সম্ভবপর না হওয়ায় (কারণ সচ্ছিদ্র বস্তুর মধ্য দিয়ে ওজোন প্রবাহিত করলে ওজোন ভেঙ্গে যায়) ইফিউশন (Effusion)-এর সাহায্য নেওয়া হয়েছিল। ইফিউশনও ব্যাপনের মতই গ্রাহামের ব্যাপনসূত্র মেনে চলে।

সোরেট 250 সিসি মাপের একটা সিলিণ্ডারে ওজোনিত অক্সিজেন নিয়ে তার ভিতরের গ্যাসকে ওই একই মাপের আর একটা অক্সিজেনপূর্ণ সিলিণ্ডারের মধ্যে 5 মিমি ব্যাসের এক ছিদ্রপথ দিয়ে 5 মিনিটের জন্য প্রবাহিত হতে দিয়েছিলেন। একই ভাবে অক্সিজেনমিশ্রিত ক্লোরিন গ্যাসকে আর এক ক্লোরিনপূর্ণ সিলিণ্ডারের মধ্যে ইফিউজড্ (Effused) হতে দেন। দুই ক্ষেত্রে ইফিউশনের আপেক্ষিক হার

ছিল ক্লোরিন 0·2270 ও ওজোন 0·2708. ক্লোরিনের ঘনত্ব 35·46 ধরলে (O = 16) ও ওজোনের ঘনত্বকে x ধরলে, গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র থেকে

$$\sqrt{x} : \sqrt{35 \cdot 46} = 0.2270 : 0.2708$$

$$\text{বা } x = \frac{(0 \cdot 2270)^2 \times 35 \cdot 46}{(0 \cdot 2708)^2} = 24 \cdot 9$$

সুতরাং আণবিক ওজন = 2 × বাষ্পঘনত্ব = 49.08

এ থেকে ওজোনের সংকেত যে O_3 হবে তাই নির্দেশিত হয়।

9·6. পরিচায়ক পরীক্ষা ও পরিমাপ ঃ

মাছের মত গন্ধ ছাড়াও, সামান্য পরিমাণ মাকারির সঙ্গে "পুচ্ছ" গঠন থেকে ওজোনের অস্তিত্ব বোঝা যেতে পারে। এছাড়াও অন্যান্য পরীক্ষাগুলি হচ্ছে—

1. ওজোন ক্লোরিন, নাইট্রোজেন পারক্সাইড, হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রভৃতি জারকের মতই পটাশিয়াম আয়োডাইড থেকে আয়োডিন নির্মুক্ত করতে পারে।

2. সবচেয়ে ভাল পরিচায়ক পরীক্ষা হল টেট্রামিথাইল বেসের সঙ্গে বিক্রিয়া। টেট্রামিথাইল বেস (টেট্রামিথাইল - p - p′ - ডাইঅ্যামিনো ডাইফিনাইল মিথেন) বা বেঞ্জিডিনের অ্যালকোহল দ্রবণের মিশ্রণে সিক্ত ফিলটার পেপার ওজোনে ধরলে বেগণী বা বাদামী (violet brown) রঙ হবে। কিন্তু ক্লোরিন বা ব্রোমিন এবং নাইট্রোজেনের অক্সাইডের সাথে কি রঙ হবে তা নীচে দেওয়া হল।

বিকারক	ওজোন	ক্লোরিন বা ব্রোমিন	নাইট্রোজেনের অক্সাইড
(i) টেট্রামিথাইল বেস	বেগনী	নীল	হলদে
(ii) বেঞ্জিডিন	বাদামী	নীল, পরে লাল	নীল

প্রশমিত বা ক্ষারীয় দ্রবণে ওজোন গালিত করে তারপর প্রাপ্ত দ্রবণে লঘু অ্যাসিড যোগ করলে যে আয়োডিন নির্মুক্ত হবে তাকে জ্ঞাত মাত্রার সোডিয়াম থায়োসালফেট দিয়ে টাইট্রেট করে ওজোনের পরিমাপ করা যেতে পারে।

$$2KI + O_3 + H_2O = 2KOH + I_2 + O_2 = KI + KIO + H_2O + O_2$$

$$KI + KIO + 2HCl = 2KCl + H_2O + I_2$$

9·7 ব্যবহার ঃ

1. ওজোনিত অক্সিজেনের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার হল পানীয় জলকে জীবাণুমুক্ত করার কাজে এর ব্যবহার।

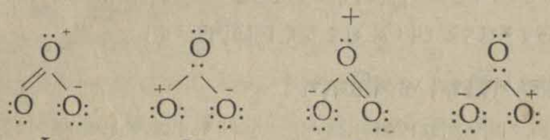
2. এ ছাড়াও ভূগর্ভস্থ রেলপথ, সিনেমা বা অপেরা হাউস (অর্থাৎ যেখানে বহুজন সমাগম হয়) এর বাতাসকে বিশুদ্ধ করার জন্য, চিড়িয়াখানার জীব জন্তুর ঘরের বাতাসকে বিশুদ্ধ করার জন্যও ওজোন ব্যবহার করা হয়।

8. অন্যান্য ব্যবহারগুলির মধ্যে তেল, মোম, হাতীর দাঁত ইত্যাদি বিরঞ্জনের কাজে এবং

4. আইসো-ইউজিনকে জারণ করে সুগন্ধি ভ্যানিলিন তৈরীর কাজে শিল্পে এর ব্যবহার হয়।

9·8 গঠন ঃ ওজোনর গঠন নিয়ে মতপার্থক্য আছে। অবলোহিত রশ্মি ও ইলেকট্রন ডিফ্র্যাকশন থেকে নিশ্চিতভাবে জানা গেছে, ওজোনের অণুটিতে পরমাণুগুলি

কৌণিকভাবে বিন্যস্ত। শ্রাও ও স্পার তাদের ইলেকট্রন ডিফ্রাকশন গবেষণা থেকে পাওয়া তথ্য থেকে এই অভিমত পোষণ করেছেন যে এই অণুর গঠন এক সমদ্বিবাহু ত্রিভুজের মতো। O—O—O কোণ হল 127±3°. O—O যোজন-দূরত্ব 1·26±0.02A। যেহেতু এই মান এক এবং দুই যোজকীয় দূরত্বের মধ্যবর্তী [এক যোজকীয় দূরত্ব=1.48A. দ্বিযোজকীয় দূরত্ব=1·10A] তাই ওজোনকে নিম্নলিখিত সম্ভাব্য গঠনগুলির মধ্যে অনুনাদিত (Resonating) বলে অনুমান করা হয়ঃ



I II III IV

প্রশ্নাবলী

1. কি ভাবে ওজোনকে প্রস্তুত ও বিশুদ্ধ করা যায়? কিভাবে ওজোনের সংকেতকে সঠিক প্রতিপন্ন করা যেতে পারে। এর গঠন সম্বন্ধে কি বলা হয়েছে?

   How is ozone prepared and obtained in the pure state? How may the formula of ozone be established. What is the structnre assigned to it?

   [সংকেতঃ অনুচ্ছেদঃ 9.2, 9·5b ও 9·8 দেখ]

2. ওজোনিত অক্সিজেন প্রস্তুতি ও ব্যবহারের সংক্ষিপ্ত বিবরণ লেখ। নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সাথে ওজোন কি ভাবে বিক্রিয়া করে (ক) ইথিলিন (খ) পটাশিয়াম আয়োডাইড (গ) হাইড্রোজেন পারক্সাইড (ঘ) মার্কারি ও (ঙ) লেড সালফাইড।

   Give an account of preparation and uses of ozonised oxygen. How does ozone react with (a) ethylene (b) potasium iodide (c) hydrogen peroxide (d) mercury and (e) lead sulfide?

   [সংকেতঃ অনুচ্ছেদ 9·2, 9·7 ও 9·4 দেখ]

3. ওজোনকে অক্সিজেনের রূপভেদ বলা হয় কেন? কি ভাবে একটি অক্সিজেন-ওজোন মিশ্রণের ওজোনের শতাংশিক পরিমাণ নির্ণয় করা যায়?

   Why is ozone called the allotropic modification of oxygen? How would you determine the percentage of ozone in a mixture of oxygen and ozone.

   [সংকেতঃ অনুচ্ছেদঃ 6.7a, 9.5b, 9.6 দেখ]

দশম অধ্যায়

হাইড্রোজেন পারক্সাইড
(Hydrogen Peroxide)

10·1a. আবিষ্কার : 1818 খৃষ্টাব্দে থেনার্ড সর্বপ্রথম বেরিয়াম পারক্সাইড ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে হাইড্রোজেন পারাক্সাইড তৈরী করেন।

10·1b. অবস্থান : অক্সিজেনে হাইড্রোজেনের দহনের সময় এবং প্রকৃতিতে অক্সিজেন-দ্রবীভূত জলে অতিবেগনী রশ্মির প্রভাবে সামান্য পরিমাণে হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন হয়।

10·2a. প্রস্তুতি : (ক) রসায়নাগার পদ্ধতি : বেরিয়াম পারক্সাইড থেকে—

(i) সোদক বেরিয়াম পারক্সাইডের প্রস্তুতি : চূর্ণ অনার্দ্র বেরিয়াম পারক্সাইড নিয়ে তাকে অল্প জলে সিক্ত করে ভাল করে একটি সজল লেই তৈরী করা হয়। এই হল সোদক বেরিয়াম পারক্সাইড। এর কারণ অনার্দ্র বেরিয়াম পারক্সাইড সহজে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না, তাছাড়া বিক্রিয়াজাত বেরিয়াম সালফেটের অদ্রবনীয় কণাগুলি বেরিয়াম পারক্সাইড কণাগুলির উপর একটা আবরণ সৃষ্টি করে।

এছাড়া সোদক বেরিয়াম পারক্সাইড তৈরী করার আর একটা পদ্ধতি আছে। এতে সমায়তনিক গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও জলের মিশ্রণ বরফে বানিয়ে প্রথমে শীতল করা হয়। এরপর এর মধ্যে ভালভাবে চূর্ণ করা বেরিয়াম পারক্সাইড ধীরে ধীরে যোগ করে কাচের দণ্ড দিয়ে নাড়তে হয়। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত অ্যাসিড প্রশমিত না হয় ততক্ষণ বেরিয়াম পারক্সাইড যোগ করা হয়। পরবর্তী পর্যায়ে অ্যালুমিনিয়াম ও আয়রনকে অধঃক্ষিপ্ত করবার উদ্দেশ্যে সামান্য ব্যারাইটা জল (baryta water) যোগ করা হয় ও মিশ্রণটিকে ফিলটার করা হয়। প্রাপ্ত পরিস্রুত অংশকে এরপর আবার ব্যারাইটা জলের সাথে মিশিয়ে দিলে বেরিয়াম পারক্সাইডের $BaO_2,8H_2O$, সাদা কেলাস পাওয়া যায় এবং ফিলটার করে এই কেলাস দ্রবণ থেকে পৃথক করা হয়।

$$BaO_2 + 2HCl = BaCl_2 + H_2O_2$$
$$H_2O_2 + Ba(OH)_2 + 6H_2O = BaO_2, 8H_2O.$$

(ii) সোদক বেরিয়াম পারক্সাইড থেকে হাইড্রোজেন পারক্সাইড :

এরপর সোদক বেরিয়াম পারক্সাইড ধীরে ধীরে একটি বীকারে হিমশীতল লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের (1 ভাগ অ্যাসিড ও 5 ভাগ জল) সাথে মেশান হয়। সালফিউরিক অ্যাসিডের বীকারটি একটি হিমগাহের উপর বসিয়ে পূর্বাহ্ণেই শীতল করে রাখা হয়। সোদক বেরিয়াম পারক্সাইডের পরিমাণ এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয়ে

থাকে যাতে মিশ্রিত দ্রবণটি কিছুটা অম্লধর্মী থাকে। এর কারণ আম্লিক মাধ্যম হাইড্রোজেন পারক্সাইডের স্থায়িত্বের পক্ষে অনুকূল। বিক্রিয়ার ফলে হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও অদ্রবণীয় বেরিয়াম সালফেট তৈরী হয়। অদ্রবণীয় বেরিয়াম সালফেট ফিলটার করে পৃথক করে, অতিরিক্ত অ্যাসিড বেরিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণ দ্বারা প্রশমিত করে, আবার ফিলটার করা হয়। পরিস্রুত অংশে 10 থেকে 20 শতাংশ হাইড্রোজেন পারক্সাইড থাকে।

$$BaO_2 + H_2SO_4 = BaSO_4 + H_2O_2$$

10.2b. অন্যান্য পদ্ধতি :

1. অন্য এক পদ্ধতিতে একটি পাত্রে চূর্ণ বেরিয়াম পারক্সাইড জলে ভাল করে মেশান হয়। অদ্রবণীয় বেরিয়াম পারক্সাইডের কণা জলে ভাসমান অবস্থায় থাকে। বিক্রিয়া-পাত্রটিকে শীতল করে তাপমাত্রা 0°-তে আনবার পর বিক্রিয়াপাত্রের মধ্যে ক্রমাগত কার্বন ডাই-অক্সাইডের প্রবাহ পাঠান হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে বেরিয়াম কার্বনেট ও হাইড্রোজেন পারক্সাইড সৃষ্টি হয়।

$$BaO_2 + CO_2 + H_2O = BaCO_3 + H_2O_2$$

2. **মার্কের পদ্ধতি :** অতিরিক্ত অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সোডিয়াম ধাতুর দহন ঘটালে সোডিয়াম পারক্সাইড তৈরী হয়। পরিমিত পরিমাণ সোডিয়াম পারক্সাইড বরফে শীতল 20 শতাংশ লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্রবণে মেশালে হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও সোডিয়াম সালফেট তৈরী হয়। দ্রবণকে আরও শীতল করলে সোডিয়াম সালফেট, $Na_2SO_4,10H_2O$ বা গ্লবার লবণ হিসাবে কেলাসিত হয়। ফিলটার করে গ্লবার লবণকে পৃথক করার পর যে পরিস্রুত অংশ পাওয়া যায় তাকে ভ্যাকুয়ামে পাতিত করলে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের 30 শতাংশ দ্রবণ পাওয়া যায়। বাজারে এই দ্রবণ **পারহাইড্রল** নামে বিক্রি হয়।

$$Na_2O_2 + H_2SO_4 = H_2O_2 + Na_2SO_4$$

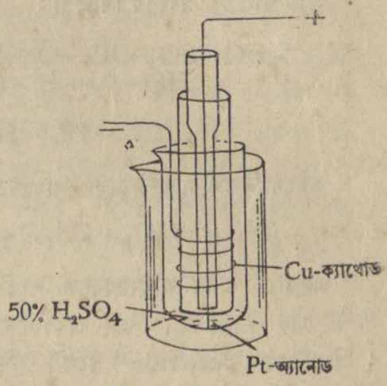
10.3 শিল্প-পদ্ধতি :

1. বেরিয়াম পারক্সাইড থেকে : চূর্ণিত বেরিয়াম পারক্সাইডের উপর স্টীম প্রবাহিত করে প্রথমে সোদক বেরিয়াম পারক্সাইড তৈরী করা হয়। তারপর এই সোদক বেরিয়াম পারক্সাইডকে ল্যাবরেটরী পদ্ধতির মত একই উপায়ে হিমশীতল অর্থো ফসফোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করিয়ে হাইড্রোজেন পারক্সাইড তৈরী করা হয়।

$$3BaO_2 + 2H_3PO_4 = Ba_3(PO_4)_2 + 3H_2O_2$$

বিক্রিয়াজাত বেরিয়াম ফসফেটকে ফিলটার করে পৃথক করা হয় এবং এই বেরিয়াম ফসফেটের সাথে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে আবার ফসফোরিক অ্যাসিড পুনরুদ্ধার করা হয়। হাইড্রোজেন পারক্সাইডের দ্রবণকে অন্তঃপ্রেষ পাতনের সাহায্যে গাঢ় করা হয়।

2. পারক্সিডাইসালফিউরিক* অ্যাসিড থেকে ঃ শিল্পে বৃহদায়তন উৎপাদনের জন্য যতগুলি পদ্ধতি আছে তাদের মধ্যে এই পদ্ধতিই সবচেয়ে বেশী ব্যবহৃত। এই পদ্ধতিতে সালফিউরিক অ্যাসিড বা অ্যামোনিয়াম হাইড্রোজেন সালফেটের দ্রবণকে অ্যানোডীয়-জারণের সাহায্যে পারক্সিডাইসালফিউরিক অ্যাসিড বা তার অ্যামোনিয়াম লবণ তৈরী করা হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ে প্রথম পর্যায়ের প্রাপ্ত দ্রব্যকে স্টীমের সাহায্যে আর্দ্র-বিশ্লেষণ করা হয়। বিকল্প এক ব্যবস্থাতে অ্যামোনিয়াম পারক্সিডাই-সালফেটকে পটাশিয়াম হাইড্রোজেন সালফেটের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে সংশ্লিষ্ট পটাশিয়াম লবণে পরিণত করা হয়। তারপর একে আর্দ্রবিশ্লেষিত করা হয়।



চিত্র নং ১৫

সালফিউরিক অ্যাসিডের অ্যানোডীয়-জারণ পদ্ধতিতে অ্যানোডটি হল একটি প্ল্যাটিনামের পাত, সমস্ত অংশটা একটা কাচের টিউব দিয়ে ঢাকা, কেবলমাত্র একপ্রান্তের একটু অংশ উন্মুক্ত। ক্যাথোড হল একটি কাচের টিউবে জড়ানো মোটা তামার তার; এবং এই কাচের টিউবটিই অ্যানোডকে ঘিরে থাকে। 50 শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিড ইলেকট্রোলাইট হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিতে পারক্সিডাই সালফেটের উৎপাদন নির্ভর করে নিম্নলিখিত উপাদানগুলির উপর।

(i) সালফিউরিক অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব (ii) তড়িৎঘনত্ব বা current density (iii) ইলেকট্রোলাইটকে শীতল অবস্থায় রাখার সক্ষমতা (iv) তড়িৎ বিশ্লেষণ কোষে সামান্য হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ।

বিক্রিয়া :

$$H_2SO_4 \rightleftarrows H^+ + [O-SO_2-OH]^-$$

ক্যাথোডে :

$$2H^+ + 2e = H_2$$

* পুরোনো বৈজ্ঞানিক পত্র পত্রিকাতে একে পারডাইসালফিউরিক অ্যাসিড বলে আখ্যাত করা হয়েছে। কিন্তু বর্তমানে অনুসৃত নামকরণ পদ্ধতি অনুসারে এদের পারক্সিডাইসালফিউরিক বলা হয়। বর্তমানের অনুসৃত পদ্ধতিতে পারক্সি কথাটি ব্যবহার করা হয় সেই সব যৌগের ক্ষেত্রে, যাদের মধ্যে $-O-O-$ এই গ্রুপ আছে এবং পার উপসর্গ কোন মূলকের বা আয়নের কেন্দ্রীয় মৌলের ঊর্ধতন জারণস্তর নির্দেশিত করার জন্য ব্যবহৃত হয়। যেমন পারম্যাঙ্গানেট (MnO_4^-), পারক্লোরেট (ClO_4^-) এবং এইসব ক্ষেত্রে কোন $-O-O-$ বা পারক্সি গ্রুপ থাকে না।

অ্যানোডে :

$$\begin{array}{c}[O-SO_2-OH]^- \\ + \\ [O-SO_2-OH]^-\end{array} = \begin{array}{l}O-SO_2-OH \\ | \\ O-SO_2-OH\end{array} + 2e$$

এবং আর্দ্র-বিশ্লেষণের বিক্রিয়া :

$$\begin{array}{l}HO-SO_2-\boxed{O-O}-SO_2-OH \\ \quad\;\; HO-\boxed{H+H}-OH\end{array}$$

$$=HO-SO_2-OH+H_2O_2+HO-SO_2-OH$$

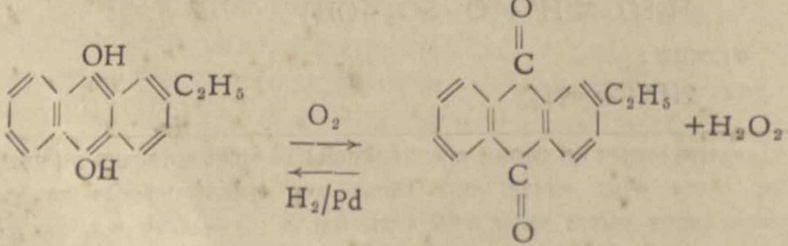
অ্যামোনিয়াম পারক্সিডাইসালফেটের আর্দ্রবিশ্লেষণ—

$$(NH_4)_2S_2O_8+2H_2O=2(NH_4)HSO_4+H_2O_2$$

এইভাবে প্রাপ্ত হাইড্রোজেন পারক্সাইডকে অন্তঃপ্রেষ পাতনের সাহায্যে 90% পর্যন্ত গাঢ় করা হয়। এই দ্রবণ মোটামুটি স্থায়ী এবং একে হাইটেস্ট পারক্সাইড (High test peroxide) বলে। দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের সময় জার্মানীতে এই পদ্ধতি প্রথম উদ্ভাবিত হয়েছিল।

3. 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনলের স্বয়ংক্রিয় জারণের দ্বারা :

বেনজিন ও 7 থেকে 11টি কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট কোনো অ্যালকোহলের মিশ্র দ্রবণে 10 শতাংশ 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনল দ্রবীভূত করে দ্রবণের মধ্যে বাতাস প্রবাহিত করলে স্বয়ংক্রিয় জারণ ঘটে এবং 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনোন ও হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন হয়। দ্রবণে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের গাঢ়ত্ব লিটার প্রতি 5 গ্রামে পৌছলে দ্রবণকে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের স্টেবিলাইজার (Stabiliser) কোনো দ্রব্য মিশ্রিত আয়ন-নির্মুক্ত (deionised) জল দিয়ে নিষ্কাশিত করা হয়। এই পদ্ধতিতে 18 শতাংশ H_2O_2-এর জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। এই দ্রবণকে অন্তঃপ্রেষ পাতনের সাহায্যে গাঢ় করে হাই টেষ্ট পারক্সাইডে পরিণত করা হয়।



দ্রবণে যে অংশে 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনোন থাকে সেই অংশকে র‍্যানে নিকেল বা প্যালাডিয়ামের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন দিয়ে বিজারিত করা হয়। এর ফলে

উক্ত যৌগ আবার 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনলে পরিণত হয় এবং এই বিজারিত পদার্থকে আবার স্বয়ংক্রিয় জারণ বিক্রিয়ায় ব্যবহার করা হয়।

10.4 বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পারক্সাইড ঃ

যে ভাবেই তৈরী করা হোক না কেন, হাইড্রোজেন পারক্সাইডে সব সময়ই কিছুটা জল থাকবে। হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জলীয় দ্রবণকে বারবার কমচাপে পাতিত করে গাঢ় করতে হয়। সাধারণ পাতন প্রক্রিয়ায় জল দূর করতে গেলে হাইড্রোজেন পারক্সাইড বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেন ও জলে পরিণত হয়। 30 শতাংশ হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জলীয় দ্রবণকে জলগাহে রেখে 65 মিমি চাপে 81° থেকে 85° তাপাংকে পাতিত করলে 90.5% হাইড্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায়। এই প্রাপ্ত অংশকে 84°-85° তাপাংকে আবার কমচাপে পাতিত করলে দ্রবণ গাঢ়তর হয় এবং 99.1 শতাংশ H_2O_2 দ্রবণ পাওয়া যায়। আরও গাঢ় করতে হলে এই দ্রবণের সামান্য অংশকে ইথার ও কঠিন কার্বন ডাই অক্সাইড দিয়ে শীতল করা হয়। এর ফলে এর সমস্তটাই কঠিন হয়ে যায়। এই জমাট বাঁধা কঠিন পদার্থের একটুখানি পারক্সাইডের গাঢ় দ্রবণে যোগ করলে 100% বিশুদ্ধ সূঁচাকৃতি কেলাস পাওয়া যায়।

10.5 ধর্ম ঃ

ভৌত ধর্ম ঃ বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পারক্সাইড ঈষৎ নীল, ডায়াম্যাগনেটিক এবং সিরাপের মত তরল। 0° তাপাংকে এর ঘনত্ব 1.47, ও −0.89° তাপাংকে জমে কঠিন হয়ে যায়। 760 মিমি চাপে স্বাভাবিক স্ফুটনাংকের তাপমাত্রায় (151.4°c) বিস্ফোরিত হলেও কম-চাপে একে পাতিত করা সম্ভব। (26 মিমি চাপে স্ফুটনাংক 69.2°)। ডাই ইলেকট্রিক ধ্রুবকের মান 93.7। বিশুদ্ধ তরল হাইড্রেজেন পারক্সাইড জলের চেয়ে বেশী মাত্রায় সংযোজিত (associated)।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ

রাসায়নিক দিক থেকে হাইড্রোজেন পারক্সাইড অত্যন্ত অস্থায়ী পদার্থ। জল ও অক্সিজেনে এর বিয়োজন এই ভাবে দেখান যেতে পারে

$$H_2O_2(g) \rightleftarrows H_2O(g) + \tfrac{1}{2}O_2(g)$$

$\Delta H^\circ_{298} = 23$ কি. ক্যালোরি $\qquad \Delta F^\circ_{298} = -30$ কি. ক্যালোরি

জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন পারক্সাইড ধর্মে জলের চেয়ে তীব্রতর অম্ল। এর আয়নন ধ্রুবক 20° তে 1.5×10^{-12}। জলের মত অন্য যৌগের সাথে যুক্ত হওয়া বা অন্য যৌগকে দ্রাবকায়িত করা (solvate formation) প্রভৃতি অনেক সদৃশ ধর্ম থাকলেও অধিকতর জারণ ও বিজারণ ক্ষমতা, ইথিলিনীয় বন্ধনে যুক্ত হবার ক্ষমতা, ও কিছু কিছু জৈব পলিমেরিজেশন (organic polymerisation) বিক্রিয়ায় অনুঘটক হিসাবে কাজ করার ক্ষমতা থাকায় এর বিক্রিয়া-প্রকৃতি জলের চেয়ে অনেকাংশে জটিলতর।

(i) হাইড্রোজেন পারক্সাইডের যুত-যৌগের উদাহরণ :

বোরেটের সাথে $NaBO_2.H_2O_2.3H_2O$। দ্রবণে এই যুতযৌগ বোরেট ও হাইড্রোজেন পারক্সাইড উভয়েরই বৈশিষ্ট্যসূচক বিক্রিয়া দেয়। এই ধরণের যুত যৌগকে পারহাইড্রেট আখ্যা দেওয়া হয়। অন্যান্য দৃষ্টান্ত হল $(NH_4)_2SO_4.H_2O_2$; KF, H_2O_2 ; $Na_2SO_4, 9H_2O, H_2O_2$। জৈব যৌগের সাথে এ ধরণের সৃষ্ট যৌগের উদাহরণ $CO(NH_2)_2.H_2O_2$ এবং $(C_2H_5)_3N.4H_2O_2$.

(ii) জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া :

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জারণ-বিজারণ বিক্রিয়াগুলি এই ভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে :

আম্লিক মাধ্যমে—

$2H_2O \rightleftarrows H_2O_2+2H^++2e$ $\quad E^\circ_{298}=-1.77$ ভোল্ট

$H_2O_2 \rightleftarrows O_2+2H^++2e$ $\quad E^\circ_{298}=-0.68$ ভোল্ট

ক্ষারীয় মাধ্যমে—

$3OH^- \rightleftarrows HO_2^-+H_2O+2e$ $\quad E^\circ_{298}=-0.87$ ভোল্ট

এটা পরিষ্কার যে pH-এর মান যাই হোক না কেন হাইড্রোজেন পারক্সাইড সর্বদা শক্তিশালী জারক হিসেবে কাজ করতে পারে। কিন্তু যদি এর চেয়ে প্রবলতর কোন জারক উপস্থিত থাকে [যেমন MnO_4^-] তবে বিজারক হিসেবে কাজ করে। আম্লিক দ্রবণে এর জারণক্রিয়া প্রায়শঃই শ্লথ, কিন্তু ক্ষারীয় দ্রবণে বেশ দ্রুত। হাইড্রোজেন পারক্সাইডের অস্থায়িত্ব, বিশেষতঃ বিযোজিত হয়ে জল ও অক্সিজেনে পরিণত হবার ঘটনা, একই সঙ্গে এর জারণ ও বিজারণ ক্রিয়ার সংঘটনের একটা বড় কারণ। এক্ষেত্রে স্মর্তব্য যে মুক্ত হাইড্রকসিল গ্রুপের অস্তিত্বের কিছু নিদর্শনও আছে। এই পদার্থও তীব্রভাবে জারণশীল।

$H_2O \rightleftarrows OH+H^++e$ $\quad E^\circ_{298}=-2.2$ ভোল্ট

$OH^- \rightleftarrows OH+e$ $\quad E^\circ_{298}=-1.4$ ভোল্ট

একই ভাবে বিজারণ পদ্ধতিতে

$OH \rightleftarrows \frac{1}{2}O_2+H^++e$ $\quad E^\circ_{298}=-0.22$ ভোল্ট

$OH+OH^- \rightleftarrows \frac{1}{2}O_2+H_2O+e$ $\quad E^\circ_{298}=0.61$ ভোল্ট

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জারণ ও বিজারণের কিছু বিক্রিয়ার উদাহরণ নিচে দেওয়া হল :

জারণ : 1. অ্যাসিড মাধ্যমে

(i) $2FeSO_4+H_2SO_4+H_2O_2=Fe_2(SO_4)_3+2H_2O$

(ii) $2K_4[Fe(CN)_6]+H_2O_2+2HCl=2K_3[Fe(CN)_6]+2KCl+2H_2O$

(iii) $2KI + H_2O_2 + 2HCl = 2KCl + I_2 + 2H_2O$

(iv) $H_2SO_3 + H_2O_2 = H_2SO_4 + H_2O$

(v) $H_3ASO_3 + H_2O_2 = H_3ASO_4 + H_2O$

2. ক্ষারীয় মাধ্যমে ঃ

$$Mn^{2+} + H_2O_2 + 2OH^- = MnO_2 + 2H_2O$$

বিজারণ ঃ

1. অ্যাসিড মাধ্যমে ঃ

$$2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 5O_2$$

2. ক্ষারীয় মাধ্যমে ঃ

(i) $2K_3[Fe(CN)_6] + 2KOH + H_2O_2 = 2K_4[Fe(CN)_6] + 2H_2O + O_2$

(ii) $NaOX + H_2O_2 = NaX + N_2O + O_2$ (X = Cl বা Br)

অন্যান্য বিক্রিয়া ঃ

1. জারণ ঃ $PbS + 4H_2O_2 = PbSO_4 + 4H_2O$
(কালো) (সাদা)

2. বিজারণ ঃ (i) $Ag_2O + H_2O_2 = 2Ag + H_2O + O_2$
(ii) $O_3 + H_2O_2 = H_2O + 2O_2$

3. (i) $Ba(OH)_2 + H_2O_2 = BaO_2 + 2H_2O$
(ii) $Na_2CO_3 + H_2O_2 = Na_2O_2 + H_2O + CO_2$

10.6 ব্যবহার ঃ

1. রসায়নাগারে জারক হিসাবে (যেমন ফেন্টন বিকারক)
2. পুরানো তৈলচিত্রের রং পুনরুদ্ধারের জন্য
3. সিল্ক, উল, পালক বা হাতীর দাঁতের সামগ্রী পরিষ্কার করার জন্য
4. অস্ত্র চিকিৎসায় ক্ষত স্থান পরিষ্কারের জন্য বীজাণুনাশক হিসাবে
5. অ্যান্টিক্লোর (antichlor) হিসাবে ক্লোরিন দ্বারা বিরঞ্জিত সামগ্রীর অতিরিক্ত ক্লোরিন দূর করার জন্য

$$H_2O_2 + Cl_2 = 2HCl + O_2$$

6. কালো চুল বিরঞ্জন করে সোনালী করার জন্য
7. সম্প্রতি পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ও অক্সিজেনের মিশ্রণ রকেটের জ্বালানী হিসাবে ব্যবহার করা হচ্ছে।

10.7 হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের মাত্রা :

বাজারে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের যে দ্রবণ বিক্রি হয় তাতে দ্রবণের শক্তি "আয়তনিক মাত্রা"য় (volume strength) প্রকাশ করা হয়। এর অর্থ হল এক আয়তন দ্রবণকে উত্তাপ প্রয়োগ করে বা কলয়ডীয় প্ল্যাটিনামের সাহায্যে বিয়োজিত করলে যে পরিমাণ অক্সিজেন পাওয়া যাবে তার আয়তন।

অর্থাৎ 10 আয়তন হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের 1 c.c. দ্রবণ থেকে প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে (N.T.P.) 10 c.c. অক্সিজেন নির্গত হবে।

$$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$$

68 22·4 লিটার

সুতরাং 1 গ্রাম H_2O_2 থেকে পাওয়া যাবে 329·4 সিসি অক্সিজেন (প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে) বা বলা যেতে পারে

100 সিসি 1% H_2O_2 দ্রবণ দেবে 329·4 সিসি অক্সিজেন

∴ 1 সিসি 1% H_2O_2 দ্রবণ দেবে 3·294 সি.সি. অক্সিজেন

অর্থাৎ 1% H_2O_2 দ্রবণ হল 3·294 আয়তন H_2O_2 দ্রবণ

অর্থাৎ H_2O_2 এর V আয়তন দ্রবণ মানে হল V/3·294 শতাংশ দ্রবণ।

10.8. পরিচায়ক পরীক্ষা : 1. পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট বা ক্রোমেটের সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা অম্লীকৃত দ্রবণে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জলীয় দ্রবণ মেশালে গাঢ় নীল রং-এর সৃষ্টি হয়। এই নীল-রং-এর যৌগ ইথারে দ্রবনীয়। এই পরীক্ষাকে **পারক্রোমিক অ্যাসিড** টেস্ট বলে।

$$H_2CrO_4 + 2H_2O_2 = CrO_5 + 3H_2O$$

এই নীল CrO_5 দ্রুত ভেঙ্গে গিয়ে অক্সিজেন ও ত্রিযোজী ক্রোমিয়াম আয়ন সৃষ্টি করে।

$$4CrO_5 + 6H_2SO_4 = 2Cr_2(SO_4)_3 + 6H_2O + 7O_2$$

2. টাইটানিয়াম ডাইঅক্সাইডের লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণে H_2O_2 যোগ করলে টাইটানিয়াম পারক্সাইডের কমলা-হলুদ রং-এর সৃষ্টি হয়।

$$TiO_2 + H_2O_2 = TiO_3 + H_2O$$

10.9. মাত্রিক বিশ্লেষণ পদ্ধতি :

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের পরিমাণ নির্ধারণ করার পদ্ধতি হল—

1. সালফিউরিক অ্যাসিড মাধ্যমে জ্ঞাত মাত্রার পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণ দিয়ে নির্দিষ্ট পরিমাণ হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের টাইট্রেশন (titration) :

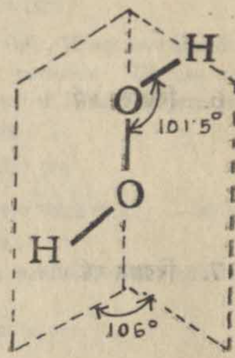
$$2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 = K_2SO^4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 5O_2$$

2. জ্ঞাত আয়তনের হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণ একটি পাত্রে নিয়ে তার সাথে, ওই পরিমাণ হাইড্রোজেন পারক্সাইড যে পরিমাণ পটাশিয়াম আয়োডাইড ও সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রদ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করতে পারে তার চেয়ে বেশী, মিশ্রদ্রবণ মেশান হয়। এর আগে বিক্রিয়াপাত্রে সামান্য মলিবডিক অ্যাসিড অনুঘটক মেশান হয়। বিক্রিয়ার ফলে যে আয়োডিন নির্মুক্ত হয় তাকে জ্ঞাত মাত্রার সোডিয়াম থায়োসালফেট দিয়ে টাইট্রেট (titrate) করা হয়।

$$H_2O_2 + 2KI + H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2H_2O + I_2$$

$$2Na_2S_2O_3 + I_2 = Na_2S_4O_6 + 2NaI.$$

10.10 গঠন ঃ হাইড্রোজেন পারক্সইড অণুর এক্সরে পরিমিতি থেকে জানা গেছে O—O যোজন দূরত্ব (bond distance) 1·46±0·03A। এটা O—O-এর তাত্ত্বিক যোজন দূরত্বের (1·48A) সাথে মিলে যায়। যদিও অণুতে হাইড্রোজেনের অবস্থান সঠিক ভাবে জানা নেই তবুও মোটামুটি বলা যেতে পারে প্রত্যেক অক্সিজেন পরমাণুর সাথে যুক্ত হাইড্রোজেন 101·5° কোণ করে আছে এবং দুটি হাইড্রোজেনের মধ্যে কৌণিক দূরত্ব হল 106°.



10.11 হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও ওজোনের তুলনা

ধর্ম	ওজোন	হাইড্রোজেন পারক্সাইড
1. প্রকৃতি, বর্ণ, গন্ধ ইত্যাদি।	1. অক্সিজেনের রূপভেদ; তাপশোষক বিক্রিয়াজাত; গাঢ় নীল বর্ণ; মাছের মত গন্ধ।	1. পারক্সাইড; তাপ-বিকীরক বিক্রিয়াজাত, পরিষ্কার সিরাপের মত তরল, গন্ধে নাইট্রিক অ্যাসিডের মত।
2. লিটমাসের সঙ্গে ক্রিয়া।	2. নিরপেক্ষ	2. আম্লিক নীল লিটমাসকে লাল করে।
3. স্থায়িত্ব	3. উভয়েই অস্থায়ী; ধীরে ধীরে ভেঙ্গে গিয়ে অক্সিজেনে পরিণত হয়। তাপ ও ধুলি, প্ল্যাটিনাম ব্লাক, বা অমসৃণ তলের সংস্পর্শে বিয়োজন দ্রুত ঘটে। $2O_3 \rightleftharpoons 3O_2$ এবং $2H_2O_2 \rightleftharpoons H_2O+O_2$	
4. দ্রাব্যতা (ক) জলে	4 (ক) সামান্য	4 (ক) সহজেই দ্রবণীয়।
(খ) জৈবদ্রাবকে	(খ) কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবণীয়; দ্রবণের বর্ণ গাঢ় নীল; তারপিন তেলেও দ্রবনীয়।	(খ) ইথারে সহজে দ্রবণীয়।

ধর্ম	ওজোন	হাইড্রোজেন পারক্সাইড
5. জারণ ধর্ম	5. তীব্র জারক ; KI থেকে আয়োডিন নির্মুক্ত করে।	5. তীব্র জারক ; KI থেকে আয়োডিন নির্মুক্ত করতে পারে।
6. বিজারণ ধর্ম	6. বহু জারকের সাথে বিক্রিয়া করে। $H_2O_2+O_3=H_2O+2O_2$	6. এও বহু জারকের সাথে বিক্রিয়া করে। $Ag_2O+H_2O_2=2Ag+H_2O+O_2$
7. বিরঞ্জন ধর্ম	7. ইণ্ডিগো বা নীলকে বিরঞ্জিত করে।	7. উল, সিল্‌ক, পালক ইত্যাদিকে জারণের দ্বারা বিরঞ্জিত করে।
8. যুত যৌগ	8. ইথিলিনের সাথে ইথিলিন ওজোনাইড গঠন করে।	8. এও কিছু কিছু যুত যৌগ গঠন করে, যেমন হাইপারোল।

প্রশ্নাবলী

1. ধাতব পারক্সাইড থেকে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের গাঢ় জলীয় দ্রবণ প্রস্তুতির প্রণালী বর্ণনা কর। কি ভাবে বিশুদ্ধ অনার্দ্র হাইড্রোজেন পারক্সাইড তৈরী করা যায়। হাইড্রোজেন পারক্সাইড তৈরী করার দুটি পদ্ধতি লেখ।
   Describe ehe preparation of concentrated aqueons solution of hydrogen peroxide, starting from a metallic peroxide. How can pure anhydrous hydrogen peroxide be obtained. Mention two other methods for the preparation of hydrogen peroxide.

   [সংকেত : অনুচ্ছেদ 10·2a, 10.2b, 10.3, 10·4 দেখ]

2. তড়িতরসায়নিক পদ্ধতিতে হাইড্রোজেন পারক্সাইড তৈরী করার পদ্ধতি বর্ণনা কর এবং কি ভাবে একে গাঢ় করা হয় তা লেখ। কি ভাবে হাইড্রোজেন পারক্সাইড নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সাথে বিক্রিয়া করে (ক) পটাশিয়াম আয়োডাইড (খ) সিলভার অক্সাইড (গ) লেড সালফাইড।
   Describe the preparation of hydrogen peroxide by an electrochemical method. How is it concentrated ? How does hydrogen peroxide react with (a) Potassium iodide (b) Silver iodide (c) Lead sulfide.

   [সংকেত : অনুচ্ছেদ 10.3, 10.4, ও 10.5 দেখ]

3. BaO_2 কে বেরিয়াম পারক্সাইড কিন্তু MnO_2 কে ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড বলা হয় কেন? হাইড্রোজেন পারক্সাইডের গঠন লেখ। এর জারণ ও বিজারণ ধর্মের সম্বন্ধে উদাহরণসহ আলোচনা কর। 10 আয়তন হাইড্রোজেন পরক্সাইড বলতে কি বোঝ?

Why is BaO_2 called Barium peroxide but MnO_2 Manganese dioxide? What is the structural formula of hydrogen peroxide? Discuss and illustrate the oxidising and reducing properties of hydrogen peroxide. What do you mean by 10 vol. hydrogen peroxide.

[সংকেত : অনুচ্ছেদ 10.2-এর পদাটিকা, 10.10, 10·5, ও 10·7 দেখ]

4. "হাইড্রোজেন পারক্সাইড জারক বা বিজারক দুই হিসাবেই কাজ করতে পারে।" —তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর। ওজোন ও হাইড্রোজেন পারক্সাইডের তুলনা কর।

"Hydrogen peroxide can function as both ozidising and reducing agent"—Explain.

Compare the properties of hydrogen peroxide and ozone.

[সংকেত : 10.5 ও 10.11 দেখ]

একাদশ অধ্যায়

গ্রুপ Vb-এর উপাদানসমূহ

পর্যায় সারণীর Vb গ্রুপে পাঁচটি মৌলিক উপাদান আছে। এরা N, As, Sb এবং Bi. এদের পারস্পরিক তুলনা নিচে দেওয়া হল।

11.1. N, P, As, Sb এবং Bi-এর পারস্পরিক তুলনা :

N,P,As, Sb ও Bi পর্যায়সারণীর পঞ্চম গ্রুপের b উপগ্রুপের অন্তর্ভুক্ত। এদের পরমাণু ক্রমাংক যথাক্রমে 7, 15, 33, 51 এবং 83. Vb গ্রুপের উপাদানগুলির প্রত্যেকটির সব থেকে বাইরের কক্ষপথে মোট 5টি ইলেকট্রন থাকে। ফলে এই উপাদানগুলির সমযোজ্যতা সর্বোচ্চ 5 (N ও Bi ব্যতীত) হয়। সাধারণভাবে সবগুলি উপাদানের যোজ্যতা 3-ও হয়। এছাড়া অন্যান্য যোজ্যতাও পরিলক্ষিত হয়, যেমন নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলির ক্ষেত্রে নাইট্রোজেনের যোজ্যতা 1 থেকে 5 পর্যন্ত হয়। পরমাণু ক্রমাংক বৃদ্ধির সাথে সাথে ঘনত্ব ও স্ফুটনাংক বাড়ে। কিন্তু গলনাংক As পর্যন্ত বেড়ে আবার কমতে থাকে। সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রোজেন গ্যাস, বাকীগুলি কঠিন। বাষ্পাবস্থায় আণবিক গঠন হয় N_2,P_4,As_4, Sb_2 (?) এবং Bi_2. সবগুলি উপাদানের ক্ষেত্রেই বহুরূপতা লক্ষ্য করা যায়।

নাইট্রোজেন এবং ফসফরাস সব ধর্মেই অধাতু, আর অ্যান্টিমনি ও বিসমাথ ধাতু। আর্সেনিক অধাতু ও ধাতুর মাঝে থাকে—একে ধাতুকল্প (metalloid) বলা হয়। অধাতু থেকে ধাতুতে উত্তরণের এরূপ দৃষ্টান্ত অন্য গ্রুপেও দেখা যায়। কিন্তু Vb গ্রুপের উপাদানগুলির ক্ষেত্রেই এটি সর্বাপেক্ষা আশ্চর্যজনকভাবে লক্ষ্য করা যায়।

Vb গ্রুপের উপাদানগুলির সকলেই অন্যান্য ধাতুর সাথে যুক্ত হয়, যেমন Ca_3N_2, Ca_3P_2, Na_3As, Zn_3Sb_2 এবং Mg_3Bi_2. এই উপাদানগুলির সকলেই গ্যাসীয় হাইড্রাইড গঠন করে। আণবিক ওজন বৃদ্ধির সাথে সাথে এই হাইড্রাইডগুলির স্থায়িত্ব এবং ক্ষারপ্রকৃতি হ্রাসপ্রাপ্ত হয়। এই কারণেই NH_3, PH_3 প্রভৃতি সুস্থিত আর BiH_3 খুবই দুঃস্থিত। NH_3 সর্বাপেক্ষা বেশি ক্ষারগুণসম্পন্ন, আর BiH_3 মোটামুটি আম্লিক প্রকৃতির। AsH_3 ও SbH_3 মোটামুটি প্রশম। অ্যালকিল মূলকের সাথে যুক্ত হয়ে PR_4^+, AsR_4^+, SbR_4^+ জাতীয় সুস্থিত ক্যাটায়ন গঠিত হয় এবং এই ক্যাটায়নগুলি তীব্র ক্ষারকীয় হাইড্রক্সাইড উৎপন্ন করে।

Vb গ্রুপের উপাদানগুলির ক্লোরাইডগুলি সম্পূর্ণত সমযোজী। নাইট্রোজেনের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র NCl_3 গঠিত হয়। যদিও As এবং Bi-এর ক্ষেত্রেও কেবলমাত্র ট্রাইক্লোরাইড গঠিত হতে দেখা যায়, তবু As ও Bi পেন্টাফ্লুওরাইড পাওয়া যায়। P ও Sb-র ক্ষেত্রে ট্রাই ও পেন্টাক্লোরাইড দুইই দেখা যায়।

সবগুলি উপাদানই ট্রাই ও পেণ্টক্সাইড গঠন করে। এর মধ্যে N,P ও As-এর অক্সাইডগুলি আম্লিক, অ্যান্টিমনির অক্সাইড প্রশম এবং Bi-এর অক্সাইড ক্ষারকীয়।

Vbগ্রুপের উপাদানগুলির কয়েকটি ভৌতধর্ম নিচের তালিকায় দেওয়া হল।

	N	P	As	Sb	Bi
পরমাণু ক্রমাংক	7	15	33	51	83
পরমাণুভার	14·008	30·975	74 91	121·76	209 00
পরমাণুর বহিস্থ কক্ষে ইলেকট্রন বিন্যাস	$2s^22p^3$	$3s^23p^3$	$4s^24p^3$	$5s^25p^3$	$6s^26p^3$
ঘনত্ব (কঠিনের)	1·03	1·83	5·73	6·71	9 80
পারমাণবিক আয়তন	13 65	16·96	13·08	18·25	21·32
গলনাংক	−210°	44·1°	814·5°	630·5°	271°
স্ফুটনাংক	−195·8°	287°	615°	1380°	1450°

নাইট্রোজেন

11.2 a ভূমিকা : নাইট্রোজেন বায়ুতে, আগ্নেয়গিরি থেকে উদ্ভূত গ্যাসে কিম্বা ঝরণা (spring) থেকে প্রাপ্ত গ্যাসে পাওয়া যায়। এর আণবিক সংকেত N_2, আণবিক ওজন 28.

শীল (Scheele 1770 – 72) প্রথম দেখান যে বায়ু দুটি গ্যাসের মিশ্রণ, আগুনে বায়ু (fire air) এবং নিকৃষ্ট বায়ু (foul air)। আগুনে বায়ু শ্বাসকার্যের সহায়ক, কিন্তু নিকৃষ্ট বায়ু শ্বাসকার্যের সহায়ক নয়। রাদারফোর্ড (Rutherford, 1772) এবং প্রিস্টলে (Priestley, 1772) পৃথক পৃথকভাবে নাইট্রোজেন আবিষ্কার করেন। চ্যাপ্টাল (Chaptal 1790) প্রথম নাইট্রোজেন নাম দেন।

কার্বন ডাই অক্সাইড ও জলীয় বাষ্পমুক্ত বায়ুতে মোটামুটি 4 ভাগ নাইট্রোজেন এবং 1 ভাগ অক্সিজেন থাকে। বিভিন্ন পরীক্ষায় দেখা গেছে বায়ুতে আয়তনিক দিক থেকে আছে N_2 78.095% , O_2 20.930%, A 0.933% এবং CO_2 0.031%. তৌলিক দিক থেকে আছে N_2 75.527%, O_2 23.140%, A 1.284% এবং CO_2 0.047%.

বায়ুতে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের পারস্পরিক অনুপাত সহজেই নির্ণয় করা যায়। সাধারণত নির্দিষ্ট আয়তন গ্যাস থেকে কোনভাবে অক্সিজেনকে সরিয়ে নেওয়া হয়। বাকী গ্যাসের আয়তনকে নাইট্রোজেনের আয়তন ধরা হয়। এই নাইট্রোজেনের মধ্যে নিষ্ক্রিয় গ্যাস থাকায় তাদের পরিমাণ বাদ দিতে হবে। বায়ুর মধ্যে ফসফরাস যোগ করলে অক্সিজেন ফসফরাস দ্বারা শোষিত হয়। কিন্তু সঠিকভাবে নির্ণয়ের জন্য নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুকে অতিরিক্ত হাইড্রোজেন গ্যাসের সাথে মিশিয়ে অগ্নিসংযোগ করা হয়। ফলে সম্পূর্ণ অক্সিজেন জলে পরিণত হয়। জল তরল হওয়ায় তার আয়তনকে তুচ্ছ করা যায়। আয়তনের যে সংকোচন হয় তার এক তৃতীয়াংশ অক্সিজেন। শুষ্ক বায়ুকে লোহিততপ্ত কপারের উপরে প্রবাহিত করলে অক্সিজেন

কপার দ্বারা শোষিত হয় এবং CuO উৎপন্ন হয়। শোষণের পরে নির্গত গ্যাসে নাইট্রোজেন ও নিষ্ক্রিয় গ্যাস থাকে। একটি শক্ত কাচনলে কপার নিয়ে এই পরীক্ষা করা যায়। নির্গমনল দিয়ে বেরিয়ে আসা নাইট্রোজেনকে একটি বায়ুশূন্য ফ্লাস্কে সংগ্রহ করা হয়। কপারের ওজনবৃদ্ধি অক্সিজেনের, আর ফ্লাস্কের ওজনবৃদ্ধি নাইট্রোজেনের ওজনের সমান। এ থেকে বায়ুর তৌলিক সংযুক্তি নির্ণয় করা যায়।

বায়ু মিশ্র পদার্থ, যৌগিক পদার্থ নয়। নিচের তথ্যগুলি থেকে এটি স্পষ্ট বোঝা যায়। (ক) বিভিন্ন স্থানের বায়ুর গঠন একই হয় না, খুব সামান্য হলেও পার্থক্য দেখা যায়। পরন্তু নাইট্রোজেন অক্সিজেনের পারমাণবিক অনুপাত 79 : 21,। ঘনত্ব থেকে যদিও N_4O জাতীয় যৌগিক পদার্থ বোঝায়, তবু নাইট্রোজেনের এরূপ কোন অক্সাইডের অস্তিত্ব দেখা যায় না। (খ) বায়ুর উপাদানগুলিকে সহজ উপায়ে পৃথক করা যায়। যেমন তরল বায়ুর আংশিক পাতন দ্বারা। ছিদ্রযুক্ত প্লাগের মধ্য দিয়ে বায়ুকে চালনা করলে লব্ধ গ্যাসে নাইট্রোজেনের আপেক্ষিক পরিমাণ বেড়ে যায়। (গ) বায়ুর জলীয় দ্রবণে অক্সিজেনের আপেক্ষিক ভাগ বেশি থাকে। (ঘ) নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনকে বায়ুর অনুপাতে মিশ্রিত করলে কোন তাপ পরিবর্তন হতে দেখা যায় না।

11.2b. নাইট্রোজেন প্রস্তুতি—(ক) **বায়ু থেকে**—পূর্বে বর্ণিত উপায়গুলি অবলম্বন করে বায়ু থেকে নাইট্রোজেন প্রস্তুত করা যায়।

(খ) N-ঘটিত যৌগ থেকে—1. NH_4NO_2 এর জলীয় দ্রবণকে উত্তপ্ত করে N_2 পাওয়া যায়। $NH_4NO_2 = N_2 + 2H_2O$

ল্যাবরেটরীতে $NaNO_2$ ও NH_4Cl-এর একটি মিশ্র দ্রবণকে উত্তপ্ত করা হয়। প্রথমে NH_4NO_2 উৎপন্ন হয় এবং পরে সেই NH_4NO_2 এর বিযোজন ঘটে।

$$NaNO_2 + NH_4Cl = NaCl + NH_4NO_2$$

উৎপন্ন গ্যাসে কিছু NO থাকে।

2. NH_3-র জারণ দ্বারা সাধারণত বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন প্রস্তুত করা হয়। এই জারণ ঘটানো হয় ঠাণ্ডা অবস্থায় ক্লোরিন. ব্রোমিন, হাইপোক্লোরাইট বা হাইপোব্রোমাইট এবং গরম অবস্থায় CuO, NO, HNO_3 বা CrO_3 দ্বারা।

$$8NH_3 + 3Cl_2 = 6NH_4Cl + N_2$$

$$2NH_3 + 3NaOBr = N_2 + 3NaBr + 3H_2O$$

$$6NO + 4NH_3 = 5N_2 + 6H_2O$$

3. সোডিয়াম বা বেরিয়াম অ্যাজাইডকে উত্তপ্ত করে অল্প পরিমাণে N_2 পাওয়া যায়। $(NH_4)_2Cr_2O_7$কে উত্তপ্ত করলে N_2 পাওয়া যায়।

$$Ba(N_3)_2 = Ba + 3N_2$$

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 = Cr_2O_3 + N_2 + 4H_2O$$

সক্রিয় নাইট্রোজেন (active nitrogen)—নাইট্রোজেনের মধ্যে বৈদ্যুতিক ডিসচার্জের ফলে একটি হলুদ রঙের আলো দেখতে পাওয়া যায়। ডিসচার্জ বন্ধ হবার পরে এই আলো দেখা যায়। মোরেন (Morren, 1865) প্রথম এটি লক্ষ্য করেন এবং স্ট্রাট (Strutt, 1911) দেখান যে এই আলো সক্রিয় নাইট্রোজেনের জন্য দেখা যায়। সক্রিয় নাইট্রোজেন কম চাপে নাইট্রোজেনের মধ্যে বৈদ্যুতিক আর্ক (eletric arc) চালনা করে পাওয়া যায়। সক্রিয় নাইট্রোজেনে পারমাণবিক নাইট্রোজেন এবং সক্রিয় নাইট্রোজেন পরমাণু (excited N-atom) থাকে। এই সক্রিয় পরমাণুর জন্যই পরীক্ষাশেষে আলো দেখা যায়।

11.2c নাইট্রোজেনের ধর্ম (properties of nitrogen)—সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রোজেন একটি বর্ণহীন, গন্ধহীন, এবং স্বাদহীন গ্যাস। দহনের সহায়ক নয়, নিজেও দাহ্য নয়। বিষাক্ত না হলেও জীবের শ্বাসকার্যের সহায়ক নয়। জলে সামান্য পরিমাণে দ্রবণীয়। লিটমাসের উপর জলীয় দ্রবণের কোন ক্রিয়া নেই। স্বাভাবিক ঘনত্ব 1.250s গ্রাম/লিটার এবং গলনাংক 186 মি.মি. চাপে $-210{\cdot}5°C$. সন্ধি তাপমাত্রা $-147{\cdot}13°$ তরল নাইট্রোজেন বর্ণহীন। দ্রুত বাষ্পীভবনের সময় কিছু তরল নাইট্রোজেন কঠিনে পরিণত হয়।

নাইট্রোজেন রাসায়নিক দিক থেকে নিস্ক্রিয়। নাইট্রোজেন অণুর বিয়োজন তাপ খুব বেশি। উত্তপ্ত অবস্থায় নাইট্রোজেন অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয়। উত্তপ্ত করা র জন্য ইলেকট্রিক আর্কের প্রয়োজন হয়। নাইট্রোজেন কিছু কিছু ধাতুর সাথে উত্তপ্ত অবস্থায় নাইট্রাইড গঠন করে। উৎপন্ন নাইট্রাইডগুলি কিছু কিছু ঠাণ্ডা জলদ্বারা এবং কিছু কিছু গরম জলদ্বারা বিযোজিত হয়। জলের সাথে বিক্রিয়ায় একটি উৎপন্ন পদার্থ NH_3।

$$Mg_3N_2 + 3H_2O = 3MgO + 2NH_3$$

ধাতব অ্যামাইডকে উত্তপ্ত করে নাইট্রাইড পাওয়া যায়, $3Ba(NH_2)_2 = Ba_3N_2 + 4NH_3$. ক্ষারীয় ধাতুগুলির ক্ষেত্রে এ পদ্ধতি খাটে না। তরল অনার্দ্র অ্যামোনিয়া মাধ্যমে কিছু কিছু লবণ পটাশ-অ্যামাইডের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রাইড গঠন করে।

$$3HgI_2 + 6KNH_2 = Hg_3N_2 + 6KI + 4NH_3$$

N_2-অণুর ইলেকট্রনীয় গঠন নিচের মত।

$$:N:::N: \quad \text{বা} \quad :N\equiv N:$$

নাইট্রোজেনের হাইড্রাইডসমূহ

প্রকৃতপক্ষে নাইট্রোজেন তিনটি হাইড্রাইড যৌগ গঠন করে, অ্যামোনিয়া NH_3, হাইড্রাজিন N_2H_4 এবং হাইড্রাজয়েক অ্যাসিড HN_3. এর মধ্যে NH_3 এবং N_2H_4 ক্ষারীয় এবং HN_3 আম্লিক। ক্ষারীয় প্রকৃতির হাইড্রক্সিলামিন, NH_2OH-কে NH_3-র ডেরিভেটিভ হিসেবে দেখা হয়। সেইজন্য অণুতে অক্সিজেন থাকা সত্বেও NH_2OH নাইট্রোজেনের হাইড্রাইড যৌগসমূহের সাথেই আলোচিত হবে।

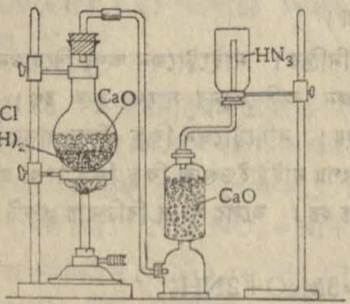
11.3a অ্যামেনিয়া (ammonia) NH_3

অ্যামোনিয়াম যৌগ নিশাদল (sal ammoniac) NH_4Cl মধ্য এশিয়া ও মিশরদেশে মধ্যযুগে ব্যবহৃত হত। 1714 খৃষ্টাব্দে প্রিস্টলে (Priestley) প্রথম মার্কারীর অপসারণ দ্বারা অ্যামোনিয়া সংগ্রহ করেন। তিনি একে ক্ষারীয় বায়ু (alkaline air) নাম দেন এবং দেখান যে বিদ্যুতস্ফুলিঙ্গ প্রবাহিত করলে এই গ্যাসের দ্বিগুণ আয়তন দাহ্য গ্যাস পাওয়া যায়। বারথোলেট (Berthollet 1785) দেখান যে এই বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন হয় নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন, $2NH_3 = N_2 + 3H_2$. অ্যামোনিয়ার আণবিক সংকেত, NH_3, স্থির করেন অস্টিন (Austin 1788), ডেভি (Devy 1800) এবং হেনরী (Henry 1809)।

প্রস্তুতি—1. ল্যাবরেটরীতে সাধারণত নিশাদল ও কলিচুনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে অ্যামোনিয়া প্রস্তুত করা হয়। উৎপন্ন গ্যাসকে পাথুরে চুনের (CaO) মধ্যে প্রবাহিত করে শুষ্ক করা হয় এবং শেষে বায়ুর অধোভ্রংশ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 = 2NH_3 + CaCl_2 + 2H_2O$$

পরীক্ষা—50 গ্রাম NH_4Cl এবং 150 গ্রাম $Ca(OH)_2$ এর একটি মিশ্রণকে একটি গোলতলবিশিষ্ট ফ্লাস্কে নেওয়া হয়। তার উপরে CaO এর টুকরো রাখা হয়। এই ফ্লাস্কে একটি নির্গমনল থাকে এবং এই নলটি একটি CaO-এর টুকরোভর্তি স্তম্ভের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে। এই স্তম্ভ থেকে একটি নির্গম নল গ্রাহকপাত্রের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে।



চিত্র নং ১৬

অ্যামোনিয়ার শুষ্কীকরণ সহজে হয় না। শুষ্কীকরণ বিকারকগুলির (drying agents) সাথে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়া ঘটে। যেমন গাঢ় H_2SO_4 অ্যামোনিয়াকে শোষণ করে, অনার্দ্র $CaCl_2$ও শোষণ করে $CaCl_2, 8NH_3$ গঠন করে। ফসফরাস পেন্টক্সাইডের সাথেও অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়া ঘটে। এইসব কারণে অ্যামোনিয়াকে প্রথমে সদ্যগালিত KOH এর উপর প্রবাহিত করে সোডিয়াম সমন্বিত একটি বালবে তরলীভূত করা হয়। যে নীল রঙের তরলটি পাওয়া যায় তাকে পাতিত করলেই বিশুদ্ধ ও শুষ্ক অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়।

2. অ্যামোনিয়াম লবণকে উত্তপ্ত করেও অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়।

$$(NH_4)_2SO_4 = NH_4HSO_4 + NH_3$$

$$(NH_4)_2\ HPO_4 = 2NH_3 + HPO_3 + H_2O$$

$$NH_4NaHPO_4\ (\text{মাইক্রোকসমিক লবণ}) = NH_3 + NaPO_3 + H_2O$$

3. ক্ষারের সাথে অ্যামোনিয়াম লবণ উত্তপ্ত করে অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়।

$$(NH_4)_2\ SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2NH_3 + H_2O$$

4. NO বা তার থেকে উঁচু নাইট্রোজেন অক্সাইড বা নাইট্রিক অ্যাসিডের বাষ্পের সাথে হাইড্রোজেন গ্যাস মিশ্রিত করে উত্তপ্ত প্লাটিনামের উপর প্রবাহিত করলে NH_3 পাওয়া যায়।

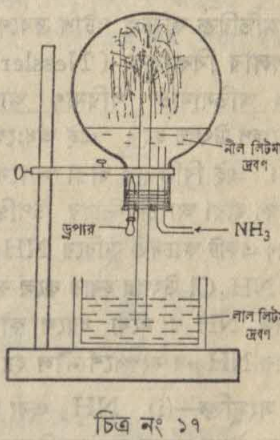
$$2NO+5H_2=2NH_3+2H_2O$$

5. লঘু নাইট্রিক অ্যাসিড, সোডিয়াম নাইট্রেট, সোডিয়াম নাইট্রাইট প্রভৃতিকে জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত করে NH_3 পাওয়া যায়।

$$HNO_3+8[H]=NH_3+3H_2O$$

ধর্ম—সাধারণ উষ্ণতায় অ্যামোনিয়া একটি বর্ণহীন তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত গ্যাস। বায়ুর থেকে হাল্কা। স্বাভাবিক ঘনত্ব 0·771 গ্রাম/লিটার। অ্যামোনিয়াকে ঠাণ্ডা করে বা চাপ প্রয়োগে অতি সহজেই তরলে পরিণত করা যায়। তরলকে ঠাণ্ডা করে পাওয়া যায় কঠিন। অ্যামোনিয়ার স্ফুটনাংক ও গলনাংক যথাক্রমে $-33·4°$ এবং $-77·7°$. তরল অ্যামোনিয়া শীতকদ্রব্য হিসেবে রেফ্রিজারেটরে ব্যবহৃত হয়। বায়ুতে NH_3 দাহ্য বা দহনের সহায়ক নয়।

অ্যামেনিয়া জলে সর্বাপেক্ষা বেশি দ্রবণীয় (1 ঘ. সে. জল 1158 ঘ. সে. অ্যামোনিয়াকে শোষণ করতে পারে 0° উষ্ণতায় এবং 739 মি. মি. চাপে)। অ্যামেনিয়ার জলীয় দ্রবণ ক্ষারীয়। উৎপন্ন NH_4OH এর আয়ননের ফলে ক্ষারীয় OH^- আয়ন গঠিত হয়। অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণের ক্ষারীয় প্রকৃতি সহজেই "ঝর্ণাপরীক্ষা" দ্বারা প্রমাণ করা যায়। চিত্রে দেখানো মত এই পরীক্ষা করা হয়। উল্টো করা ফ্লাস্কটি প্রথমে অ্যামোনিয়া দ্বারা ভর্তি করা হয়। তারপর ড্রপারে রক্ষিত জল চাপ দিয়ে ভিতরে ঢুকিয়ে দেওয়া হয়। এই জল সামান্য পরিমাণ অ্যামোনিয়া শোষণ করলে ভিতরের চাপ সামান্য পরিমাণে কমে যাবে। তখন বাইরের লাল লিটমাসদ্রবণ নলের ভিতর দিয়ে উপরে উঠে যাবে এবং আরো অ্যামোনিয়া দ্রাবিত হবে। ফলে আরো চাপ কমে যাবে এবং আরো দ্রবণ বাইরে থেকে ভিতরে উঠে আসবে। এমনি করে পুরো ফ্লাস্কটা এই দ্রবণে পূর্ণ হয়ে যাবে। কিন্তু অ্যামোনিয়া ক্ষারীয় হওয়ায় লাল লিটমাস দ্রবণ নীল হয়ে যাবে। এবং ফোয়ারার মত যে দ্রবণ ফ্লাস্কে ঢুকতে থাকে তার রং হয় নীল। এর দ্বারা প্রমাণ হয় যে অ্যামোনিয়া ক্ষারীয়।



চিত্র নং ১৭
ঝর্ণা পরীক্ষা

জলীয় অ্যামোনিয়াকে খুব ঠাণ্ডা করলে দুটি কেলাসিত কঠিন হাইড্রেট পাওয়া যায়, NH_3, H_2O গলনাংক $-79°$ এবং $2NH_3,H_2O$ গলনাংক -78.9. গাঢ়

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের দ্রবণে NH_3,H_2O_2 এবং $2NH_3,H_2O_2$ পাওয়া যায়। উত্তপ্ত ক্ষারীয় ধাতু এবং বেরিয়ামের সাথে শুষ্ক অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয় অ্যামাইড। $2NH_3+2Na=2NaNH_2+H_2$. এই বিক্রিয়ার ফলে হাইড্রোজেন পাওয়া যায়। ধাতব অ্যামাইড জলের সাথে বিক্রিয়া করে ধাতব হাইড্রক্সাইড ও অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। $NaNH_2+H_2O=NaOH+NH_3$.

অক্সিজেনের উপস্থিতিতে NH_3 প্রজ্বলিত হয় এবং অগ্নিসংযোগে বিস্ফোরণ ঘটে। $4NH_3+3O_2=6H_2O+2N_2$। উত্তপ্ত অবস্থায় লোহা অনুঘটকের পৃষ্ঠদেশে অ্যামোনিয়ার বিযোজন ঘটে। উত্তপ্ত প্লাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে NH_3 অক্সিজেনদ্বারা জারিত হয়, $4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O$.

Cl_2এর সাথে NH_3-র বিক্রিয়া ঘটে দুইভাবে। যখন NH_3 অতিরিক্ত পরিমাণে থাকে তখন NH_4Cl এবং N_2, আর যখন অতিরিক্ত Cl_2 থাকে তখন একটি তরল বিস্ফোরক যৌগ NCl_3 এবং HCl উৎপন্ন হয়।

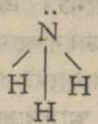
O_2 এবং NH_3-র মিশ্রণ বিস্ফোরক। CO ও O_2 এর সাথে মিশ্রিত অবস্থায় NH_3-র বিস্ফোরণ ঘটালে NH_3 বিযোজিত হয়। অনেকগুলি উত্তপ্ত ধাতব অক্সাইড NH_3 দ্বারা বিজারিত হয়। $3PbO+2NH_3=3Pb+N_2+3H_2O$.

অতিরিক্ত কস্টিক পটাশ দ্রবণে পটাশিয়াম মারকিউরি-আয়োডাইড দ্রাবিত করলে **নেসলার বিকারক** (Nessler's reagent) পাওয়া যায়। এই বিকারকের সাথে অতিসামান্য পরিমাণ অ্যামোনিয়ারও বিক্রিয়া ঘটে এবং একটি বাদামী অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়। এই অধঃক্ষেপের সংকেত NHg_2I,H_2O বা $NH_2Hg_2I_3$ হবে। এই বিক্রিয়ার দ্বারা অ্যামোনিয়ার উপস্থিতি পরীক্ষা করা হয়। এছাড়া যে সব পরীক্ষা দ্বারা অ্যামোনিয়ার উপস্থিতি প্রমাণ করা হয় তা হল—(ক) HCl-এর জলীয় দ্রবণে একটি কাচদণ্ড ডুবিয়ে NH_3 গ্যাসের মধ্যে ধরলে ঘন সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি হয়। এটি NH_4Cl উৎপন্ন হবার ফলে সৃষ্টি হয়। (খ) মারকিউরাস নাইট্রেট দ্রবণে সিক্ত কাগজ NH_3র মধ্যে ধরলে কাগজটি কালো হয়ে যায়। (গ) আর্দ্র লাল লিটমাস কাগজ NH_3-র সংস্পর্শে নীল হয়।

সংযুক্তি—(i) NH_3 এবং অতিরিক্ত O_2-এর মিশ্রণকে বৈদ্যুতিক স্ফুলিঙ্গ-প্রবাহে উত্তপ্ত করলে অ্যামোনিয়ার বিযোজন ঘটে এবং আয়তনে সংকোচন দেখা যায়। এই সংকোচনের 1/3 অংশ হাইড্রোজেন। অতিরিক্ত O_2-কে ক্ষারীয় পাইরোগ্যালল দ্বারা শোষণ করালে অবশিষ্ট নাইট্রোজেনের যে আয়তন পাওয়া যায় তাতে দেখা যায় একই তাপমাত্রায় এবং চাপে 3 আয়তন হাইড্রোজেন এবং 1 আয়তন নাইট্রোজেন পাওয়া যায় যখন 2 আয়তন অ্যামোনিয়ার বিযোজন ঘটে। যদি অ্যামোনিয়ার সংকেত N_xH_y হয়, তাহলে $2N_xH_y=N_2+3H_2$. এতে দেখা যাচ্ছে যে $x=1$ এবং $y=3$. পরন্তু অ্যামোনিয়ার বাষ্পঘনত্ব থেকে আণবিক ওজন পাওয়া যায় 17. অতএব অ্যামোনিয়ার আণবিক সংকেত NH_3.

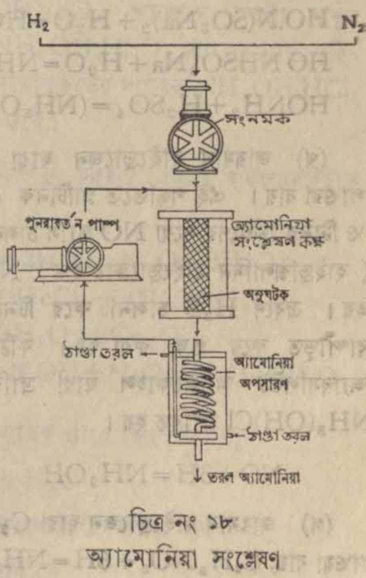
(ii) তৌলিক সংযুক্তি নির্ণয়ের জন্য অ্যামোনিয়া গ্যাসকে একটি টিউবে রক্ষিত উত্তপ্ত CuO এবং Cu এর মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়। Cu থাকে CuO কলমের পরে। অ্যামোনিয়া ও CuO এর বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয় N_2 ও H_2O. কিছু পরিমাণে NO-ও উৎপন্ন হয়। এই NO পরবর্তী Cu কলমের মধ্যে যাবার সময় বিক্রিয়া করে N_2 তৈরী করে। টিউব থেকে বেরিয়ে আসা গ্যাসকে অনার্দ্র ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের মধ্যে চালনা করা হয় এবং শেষে শুষ্ক নাইট্রোজেন একটি টিউবে সংগ্রহ করা হয়। ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড উৎপন্ন জলকে শোষণ করে। ফলে এর ওজনবৃদ্ধি থেকে হাইড্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়। ঘনত্বের সাহায্যে এখন সহজেই অ্যামোনিয়ার সংকেত NH_3 পাওয়া যায়।

গঠন—অ্যামোনিয়ার গঠন পিরামিডাকৃতি,



বাণিজ্যিক প্রস্তুতি—কোল গ্যাস প্রস্তুতিতে উপজাত দ্রব্য গ্যাসলিকার থেকে অ্যামোনিয়া এবং তার অন্যান্য যৌগ তৈরী করা যেতে পারে। কিন্তু সাংশ্লেষিক পদ্ধতির তুলনায় এই পদ্ধতির প্রয়োজনীয়তা অনেক কম।

সাংশ্লেষিক অ্যামোনিয়া প্রস্তুতিতে এক আয়তন N_2 এবং 3 আয়তন H_2-এর মিশ্রণকে উচ্চচাপে উত্তপ্ত লোহা অনুঘটকের উপর প্রবাহিত করা হয়। $N_2+3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$ এই বিক্রিয়াটি উভমুখী এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে উৎপন্ন অ্যামোনিয়ার পরিমাণ কমে যায়। তাপমাত্রা সাধারণত 500° বা তার কাছাকাছি রাখা হয় এবং চাপ **হেবার পদ্ধতিতে** 100-250 অ্যাটমসফিয়ার এবং **ক্লড পদ্ধতিতে** 1000 অ্যাটমসফিয়ার ব্যবহার করা হয়। লোহা অনুঘটকের সাথে প্রভাবক (promoter) হিসেবে ফেরিক অক্সাইড এবং পটাশিয়াম অ্যালুমিনেট ব্যবহার করা হয়। বিক্রিয়াকক্ষ পরিত্যাগের পর গ্যাসের মধ্যে থাকে NH_3 এবং কিছুপরিমাণ N_2 ও H_2এর মিশ্রণ। চাপ প্রয়োগে NH_3কে তরলে পরিণত করা হয়, কিন্তু নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন তখনও গ্যাস অবস্থায় থাকে এবং এই গ্যাসকে পুনরায় বিক্রিয়াকক্ষে পাঠানো হয়।



চিত্র নং ১৮
অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণ

11.3b হাইড্রক্সিলামিন (Hydroxylamine) NH_2OH

অ্যামোনিয়ার একটি হাইড্রোজেনকে OH দ্বারা প্রতিস্থাপিত করে পাওয়া যায় হাইড্রক্সিলামিন, NH_2OH. 1865 খ্রীষ্টাব্দে লসেন (Lossen) এর আবিষ্কার করেন।

প্রস্তুতি : (ক) $-2°$ উষ্ণতায় রক্ষিত 53 গ্রাম Na_2CO_3 এবং 69 গ্রাম $NaNO_2$-এর মিশ্রণের জলীয় দ্রবণে ধীরে ধীরে SO_2 গ্যাস চালনা করা হয় এবং মিশ্রণটিকে ভালোভাবে নাড়া হয়। এইভাবে যতক্ষণ না দ্রবণটি সামান্য পরিমাণে আম্লিক হয় ততক্ষণ পর্যন্ত SO_2 চালনা করা হয়। এই সময়ে উৎপন্ন হয় সোডিয়াম হাইড্রক্সিলামিন ডাইসালফোনেট। এই দ্রবণে কয়েক ফোঁটা লঘু H_2SO_4 যোগ করে উষ্ণ করা হয়। ডাইসালফোনেটের আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটে এবং সোডিয়াম হাইড্রক্সিলোমিন মোনোসালফোনেট গঠিত হয়। এরপর 90°-95° উষ্ণতায় দিন দুই রেখে দেওয়া হয়। ফলে আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটে এবং হাইড্রক্সিলিমিনিয়াম সালফেট পাওয়া যায়। Na_2CO_3 দ্বারা একে প্রশমিত করে বাষ্পীভবনের সাহায্যে আয়তন কমিয়ে ঠাণ্ডা করা হয়। ফলে $Na_2SO_4,10H_2O$ কেলাস আকারে অধঃক্ষিপ্ত হয়। পরিস্রাবণ করে পরিস্রুতকে আরও বাষ্পীভূত করলে হাইড্রক্সিলামিনিয়াম সালফেটের অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। এই অধঃক্ষেপকে জলীয় দ্রবণ থেকে পুনঃকেলাসিত করা হয়।

$$NaNO_2 + 3NaHSO_3 = HO.N(SO_3Na)_2 + Na_2SO_3 + H_2O$$
$$HO.N(SO_3Na)_2 + H_2O = HO.NHSO_3Na + NaHSO_4$$
$$HO.NHSO_3Na + H_2O = NH_2OH + NaHSO_4$$
$$HONH_2 + H_2SO_4 = (NH_3OH)_2SO_4$$

(খ) জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা NO কে বিজারিত করে হাইড্রক্সিলামিন পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে প্লাটিনিক ক্লোরাইড সমন্বিত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও টিনের মিশ্রণের মধ্যে NO গ্যাস চালনা করা হয়। হাইড্রক্সিলামিনিয়াম ক্লোরাইড (হাইড্রক্সিলামিন হাইড্রোক্লোরাইড) $NH_3(OH)Cl$ এবং অল্প NH_4Cl উৎপন্ন হয়। দ্রবণে H_2S চালনা করে টিনকে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। এরপর দ্রবণটিকে বাষ্পীভূত করে শুষ্ক করা হয়। কঠিন অবশেষকে প্রথমে ঠাণ্ডা ও পরে ফুটন্ত অ্যাবসলিউট অ্যালকোহল দ্বারা দ্রাবিত করে নেওয়া হয়। এতে কেবলমাত্র $NH_3(OH)Cl$ দ্রাবিত হয়।

$$NO + 3H = NH_2OH$$

(গ) জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা $C_2H_5NO_3$ কে বিজারিত করে NH_2OH পাওয়া যায়, $C_2H_5NO_3 + 6H = NH_2OH + C_2H_5OH + H_2O$.

(ঘ) নাইট্রিক অ্যাসিডের তড়িৎবিজারণ (electrolytic reduction) দ্বারা NH_2OH পাওয়া যায়, $HNO_3 + 6H = NH_2OH + 2H_2O$.

মিথাইল অ্যালকোহলে হাইড্রক্সিলামিন হাইড্রোক্লোরাইডের দ্রবণে মিথাইল অ্যালকোহলে সোডিয়াম মিথক্সাইডের দ্রবণ যোগ করে, NaCl এর অধঃক্ষেপকে পরিস্রাবণ করে এবং পরিস্রুতকে কম চাপে পাতিত করে **অনার্দ্র হাইড্রক্সিলামিন** পাওয়া যায়। এই পদ্ধতি প্রথম ব্যবহার করেন লোব্রি ডি ব্রুইন (Lobry de Bruyn, 1891)।

$$NH_3(OH)Cl + CH_3ONa = NH_2OH + CH_3OH + NaCl.$$

ধর্ম ঃ বিশুদ্ধ হাইড্রক্সিলামিন উদগ্রাহী (deliquescent) কঠিন। আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.35, গলনাংক 33°। উত্তাপ প্রয়োগে বিস্ফোরণ হয়। কম চাপে হাইড্রক্সিলামিনকে পাতিত করা যায়। বাষ্পঘনত্ব থেকে আণবিক সংকেত পাওয়া যায় NH_2OH. কঠিন NH_2OH এর বিয়োজন ঘটে 15°র উপরে।

$$3NH_2OH = NH_3 + N_2 + 3H_2O$$
$$4NH_2OH = 2NH_3 + N_2O + 3H_2O$$

বায়ুর সংস্পর্শে 70° উষ্ণতায় বিস্ফোরণ ঘটে। NH_2OH এর জলীয় দ্রবণ ক্ষারীয়। তবে NH_4OH এর থেকে এই দ্রবণ কম ক্ষারীয়।

$$NH_2OH + H_2O \rightleftarrows NH_3OH^+ + OH^-$$

হাইড্রক্সিলামিনিয়াম সালফেট $(NH_3OH)_2SO_4$ অ্যালামে ক্ষারীয় ধাতুর সালফেটকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। $NH_3OH.HSO_4$ সংকেতবিশিষ্ট বাই-সালফেটও পাওয়া যায়। হাইড্রক্সিলামিন হাইড্রোক্লোরাইডের সংকেত $NH_2OH.HCl$. $ZnCl_2$ এর সাথে NH_2OH যুতযৌগ গঠন করে।

হাইড্রক্সিলামিন শক্তিশালী বিজারক। বিজারণ ক্রিয়ায় প্রথমে হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিড গঠিত হয় বলে মনে করা হয়।

$$2NH_2OH = HO.N = N.OH + 2H_2O = N_2O + 3H_2O$$
$$2NH_2OH + 4FeCl_3 = N_2O + 4FeCl_2 + 4HCl + H_2O$$
$$2NH_2OH + 4CuO = N_2O + 3H_2O + 2Cu_2O$$
$$NH_2OH + HNO_2 = HO.N = N.OH + H_2O = N_2O + 2H_2O$$

সোডিয়াম বাইকার্বনেটের উপস্থিতিতে I_2 মাত্রিক ভাবে বিজারিত হয়,

$$2NH_2OH + I_2 = N_2O + 4HI + H_2O$$

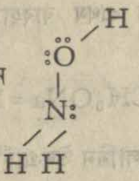
NH_2OHকে HNO_3-এর সাথে উত্তপ্ত করলে NO পাওয়া যায়।

$$NH_2OH + HNO_3 = 2NO + 2H_2O$$

ক্ষারীয় দ্রবণে NH_2OH জারক হিসেবেও কাজ করতে পারে।

$$NH_2OH + Fe(OH)_2 + H_2O = NH_3 + 2Fe(OH)_3$$

জলবর্জিত হাইড্রক্সিলামিন সামান্য আম্লিক। ক্ষারের উপস্থিতিতে সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুশাইড ও হাইড্রাক্সিলামিন লবণের মিশ্রণের রং লাল হয়। এর দ্বারা হাইড্রক্সিলামিনের উপস্থিতি নিরূপণ করা যায়।

গঠন : হাইড্রক্সিলামিনের সম্ভাব্য গঠন  ।

11.3c. হাইড্রাজিন (Hydrazine) N_2H_4

প্রস্তুতি : হিমমিশ্রে শীতলীকৃত 100 ঘ. সে. 5% কস্টিক সোডার জলীয় দ্রবণে 4 গ্রাম Cl_2 গ্যাস চালনা করে প্রথমে NaOCl তৈরী করা হয়। এই সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট দ্রবণকে বায়ুতে রেখে দেওয়া হয়, ফলে অতিরিক্ত Cl_2 বেরিয়ে যায়। এই দ্রবণে 200 ঘ. সে. অ্যামোনিয়ার সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণ ও 15-20 ঘ. সে. 1% জিলোটিন যোগ করা হয়। এই স্তরে বিক্রিয়ার ফলে হাইড্রাজিন উৎপন্ন হয়।

$$NH_3 + NaOCl = NH_2Cl + NaOH$$

$$NH_2Cl + NH_3 = N_2H_4 + HCl$$

উৎপন্ন দ্রবণের আয়তন উত্তাপপ্রয়োগে অর্ধেক করে নিয়ে 10 ঘ. সে. গাঢ় H_2SO_4, 50 ঘ. সে. জল এবং যতক্ষণ না ঘোলাটে হয় ততক্ষণ পর্যন্ত অ্যালকোহল যোগ করা হয়। এই দ্রবণকে ঠাণ্ডা করলে হাইড্রাজিনিয়াম সালফেট পাওয়া যায়, $(N_2H_5)HSO_4$. বুখনার ফনেলে পরিস্রাবণ করে এই সালফেটকে ছিদ্রযুক্ত থালায় রেখে শুষ্ক করা হয়। যদি হাইড্রাজিন সালফেটকে কম চাপে **রবার বা কর্কের সংযোগহীন** যন্ত্রে পাতিত করা হয় তাহলে হাইড্রাজিন হাইড্রেট পাওয়া যায়। এটি ঠিক N_2H_4,H_2O নয়—একটি সর্বোচ্চ স্ফুটনাংকযুক্ত মিশ্রণ। জাইলিন মিশ্রিত করে পাতিত করলে এই হাইড্রেট দ্রবণ 95% পর্যন্ত গাঢ় হয়। জাইলিন জলের সাথে অ্যাজিওট্রোপিক মিশ্রণ তৈরী করে এবং জলসহ পাতিত হয়। হাইড্রাজিন হাইড্রেট ও তার সম ওজনের কস্টিক সোডার মিশ্রণকে পাতিত করলে 150° উষ্ণতায় অনার্দ্র হাইড্রাজিন পাওয়া যায়।

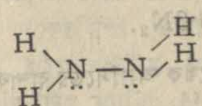
ধর্ম : ঠাণ্ডা করলে হাইড্রাজিন কেলাসিত কঠিনে পরিণত হয়। এই কঠিনের গলনাংক 2°. তরল হাইড্রাজিনের স্ফুটনাংক 113.5°. জলে হাইড্রাজিন ভালোভাবে দ্রবণীয়। হাইড্রাজিন অতি ক্ষীণ ক্ষারক। হাইড্রাজিন দুই শ্রেণীর যুতযৌগ গঠন করে—$N_2H_4.HCl$ এবং $N_2H_4.2HCl$. সালফেট যৌগের সংকেত হবে $N_2H_4.H_2SO_4$ এবং $(N_2H_5)_2SO_4$. হাইড্রাজিন $ZnCl_2$ ও HCl অ্যাসিড মিশ্রণের সাথে ডবল লবণ তৈরী করে। হাইড্রাজিনিয়াম লবণ জলে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়। অনার্দ্র হাইড্রাজিন শুষ্ক অক্সিজেন এবং হ্যালোজেনের সংস্পর্শে প্রজ্বলিত হয়।

$2Cl_2 + N_2H_4 = 4HCl + N_2$. হাইড্রাজিন বায়ুর জলীয় বাষ্প ও কার্বন ডাই অক্সাইড শোষণ করে। উত্তাপে হাইড্রাজিন বিযোজিত হয়, $3N_2H_4 = N_2 + 4NH_3$. $KMnO_4$ এর সংস্পর্শে N_2H_4 বিস্ফোরণ ঘটায়।

হাইড্রাজিন ও তার লবণগুলি শক্তিশালী বিজারক। বিজারণের ফলে N_2 উৎপন্ন হয়।

$$N_2H_4 + O_2 = N_2 + 2H_2O$$
$$3N_2H_4 + 2KIO_3 = 3N_2 + 2KI + 6H_2O$$
$$N_2H_4 + 4CuO = N_2 + 2Cu_2O + 2H_2O$$

সোডিয়াম বাইকার্বনেটের উপস্থিতিতে হাইড্রাজিন আয়োডিনকে সম্পূর্ণভাবে বিজারিত করে, $N_2H_4 + 2I_2 = N_2 + 4HI$. এই বিক্রিয়া হাইড্রাজিনের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য ব্যবহৃত হয়।

গঠন : হাইড্রাজিনের সম্ভাব্য গঠন 

11.2d হাইড্রাজয়েক অ্যাসিড (Hydrazoic acid), HN_3

প্রস্তুতি : শক্ত কাচনলের মধ্যে একটি চীনেমাটির নৌকোয় সোডিয়াম নিয়ে 200°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হয় এবং শুষ্ক NH_3 গ্যাস টিউবের মধ্যে প্রবাহিত করা হয়। ফলে সোডামাইড উৎপন্ন হয়, $2Na + 2NH_3 = 2NaNH_2 + H_2$. কিছুক্ষণ পরে NH_3-র পরিবর্তে শুধু N_2O কাচনলে প্রবেশ করানো হয় এবং সোডিয়াম অ্যাজাইড উৎপন্ন হয়, $NaNH_2 + N_2O = NaN_3 + H_2O$ এই বিক্রিয়া অনুসারে উৎপন্ন জল $NaNH_2$-এর সাথে বিক্রিয়া করে, $NaNH_2 + H_2O = NaOH + NH_3$. যখন অ্যামোনিয়া আর উদ্ভূত হয় না তখন নলের ভিতর থেকে NaN_3 ও $NaOH$ এর মিশ্রণকে বের করে নিয়ে অতিরিক্ত পরিমাণ লঘু H_2SO_4-এ যোগ করা হয়। এই মিশ্রণকে পাতিত করলে হাইড্রাজয়েক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়,— $NaN_3 + H_2SO_4 = HN_3 + NaHSO_4$. এই জলীয় দ্রবণকে আংশিক পাতন দ্বারা গাঢ় করা হয়। গাঢ় দ্রবণকে গলিত $CaCl_2$ সহযোগে পাতিত করলে অনার্দ্র হাইড্রোজয়েক অ্যাসিড পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে উইসলিসেনাস (Wislicenus, 1892) HN_3 প্রথম প্রস্তুত করেন।

এই পদ্ধতি ছাড়া অন্যভাবেও হাইড্রাজয়েক অ্যাসিড তৈরী করা যায়। যেমন, N_2H_4 এবং NCl_3-এর মধ্যে বিক্রিয়ায় HN_3 উৎপন্ন হয়।

$$N_2H_4 + NCl_3 = HN_3 + 3HCl$$

NH_2OH এবং N_2H_4-এর মিশ্রণকে ক্রোমিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্বারা জারিত করে HN_3 পাওয়া যায়।

$$N_2H_4 + NH_2OH + 2O = HN_3 + 3H_2O$$

কেবলমাত্র হাইড্রাজিনকে নাইট্রিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্বারা জারিত করা যায়, $3N_2H_4+5O=2HN_3+5H_2O$

ধর্ম : অনার্দ্র হাইড্রাজয়েক অ্যাসিড বিস্বাদ গন্ধযুক্ত একটি তরল পদার্থ। স্ফুটনাংক 37°, গলনাংক −80°। এই তরল পদার্থ বিস্ফোরক এবং বিষাক্ত। উত্তাপে তীব্র বিস্ফোরণ ঘটে।

HN_3 একটি অতি ক্ষীণ অ্যাসিড। জলীয় দ্রবণে মাত্র 1% আয়নিত হয়। $HN_3 \rightleftarrows H^+ + N_3^-$ এই অ্যাসিডে বহু ধাতু দ্রাবিত হয়, ফলে ধাতব অ্যাজাইড ও N_2 উৎপন্ন হয়, $Ba+3HN_3=Ba(N_3)_2+NH_3$. ম্যাগনেশিয়াম ধাতুর সাথে বিক্রিয়ায় সামান্য হাইড্রোজেন পাওয়া যায়। হাইড্রাজয়েক অ্যাসিড সম্পূর্ণভাবে HNO_2 এর সাথে বিক্রিয়া করে, $HN_3+HNO_2=N_2+N_2O+H_2O$. ক্ষার এবং ক্ষারমৃত্তিকা ধাতুগুলির অ্যাজাইডকে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ নাইট্রোজেন পাওয়া যায়, $Ba(N_3)_2=Ba+3N_2$.

গঠন : হাইড্রাজয়েক অ্যাসিডের বাষ্পঘনত্ব থেকে HN_3 সংকেত পাওয়া যায়। থিলার (Thiele, 1911) মতে এর গঠন হবে $N\overset{\leftarrow}{-}N=NH$ বা $:N::N::\ddot{N}:H$ X-রশ্মি এবং অন্যান্য পরীক্ষায় দেখা গেছে যে প্রকৃতপক্ষে N_3^- একটি রেজোনান্স হাইব্রিড।

$$^{=}:\underset{..}{\ddot{N}}-\overset{+}{N}\equiv N: \quad :N\equiv\overset{+}{N}-\underset{..}{\ddot{N}}:^{=} \quad ^{-}:\ddot{N}=\overset{+}{N}=\ddot{N}:^{-}$$

নাইট্রোজেনের হ্যালাইডসমূহ (halides of nitrogen)

নাইট্রোজেন সাধারণত ট্রাইহ্যালাইড গঠন করে NX_3, X = হ্যালোজেন। এই হ্যালাইডগুলিকে NH_3-র H প্রতিস্থাপন দ্বারা উৎপন্ন মনে করা যেতে পারে।

11.4a. নাইট্রোজেন ট্রাইফ্লোরাইড, NF_3 : গলিত অ্যাসিড অ্যামোনিয়াম ফ্লোরাইডের (NH_4HF_2) তড়িৎবিশ্লেষণের ফলে পাওয়া যায়। এটি মোটামুটি একটি নিস্ক্রিয় গ্যাস। স্ফুটনাংক −119°। NF_3 ও O_2.-এর মিশ্রণে অগ্নিসংযোগ করলে বিস্ফোরণ ঘটে।

11.4b. নাইট্রোজেন ট্রাইক্লোরাইড, NCl_3. এটি একটি হলুদ রঙের বিস্ফোরক তরল পদার্থ। NH_3 ও অতিরিক্ত ক্লোরিনের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে NCl_3 পাওয়া যায়, $NH_3+3Cl_2=NCl_3+3HCl$. নাইট্রোজেন ট্রাইক্লোরাইডের বাষ্প চোখকে সহজে আক্রমণ করে। জলের সাথে বিক্রিয়ায় NCl_3 ধীরে ধীরে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়।

11.4c. মোনোক্লোরামিন, NH_2Cl ও ডাইক্লোরোমিন, $NHCl_2$: NH_3 ও NaOCl এর মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে NH_2Cl উৎপন্ন হয়।

$NH_3 + NaOCl = NH_2Cl + NaOH$. $-66°$ উষ্ণতার নিচে NH_2Cl বর্ণহীন কেলাস গঠন করে। 4·5 pH-এর $(NH_4)_2SO_4$ দ্রবণে ক্লোরিন চালনা করলে ডাইক্লোরামিন পাওয়া যাবে।

নাইট্রোজেনের অক্সাইড ও অক্সি-অ্যাসিডসমূহ
(Oxides and oxyacids of nitrogen)

নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের মধ্যে সংযোগের ফলে উৎপন্ন হয় নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ। আবার এই অক্সাইডগুলির অনেকে জলের সাথে বিক্রিয়া করে উৎপন্ন করে অ্যাসিড। সেক্ষেত্রে অক্সাইডকে উৎপন্ন অ্যাসিডের অ্যানহাইড্রাইড (anhydride) বলা হয়। নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলির নাম ও সংকেত যথাক্রমে, নাইট্রাস অক্সাইড N_2O, নাইট্রিক অক্সাইড NO, নাইট্রোজেন ট্রাই অক্সাইড N_2O_3, নাইট্রোজেন টেট্রক্সাইড N_2O_4 অথবা নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইড NO_2 এবং নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড N_2O_5। এছাড়া NO_3 সংকেতবিশিষ্ট একটি অক্সাইডও আছে বলে জানা যায়। অ্যাসিডগুলি যথাক্রমে হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিড $H_2N_2O_2$, হাইড্রোনাইট্রাস অ্যাসিড H_2NO_2, হাইপোনাইট্রিক অ্যাসিড $H_2N_2O_3$, নাইট্রাস অ্যাসিড HNO_2 এবং নাইট্রিক অ্যাসিড HNO_3. HNO_4 সংকেতবিশিষ্ট পারনাইট্রিক অ্যাসিডও পাওয়া যায়।

11.5a. নাইট্রাস অক্সাইড (nitrous oxide), N_2O.

ডেভি (Davy, 1799) প্রথম NH_4NO_3কে উত্তপ্ত করে নাইট্রাস অক্সাইড প্রস্তুত করেন এবং এর গঠন নিরূপণ করেন।

প্রস্তুতি ঃ ডেভির পদ্ধতি অবলম্বন করে নাইট্রাস অক্সাইড প্রস্তুত করা যায়। কিন্তু NH_4NO_3-এর বিয়োজন হার বেশি হলে বিক্রিয়াপাত্রে বিস্ফোরণ ঘটে। তাই NH_4NO_3-এর আপেক্ষিক পরিমাণ কম নেওয়া হয়। $NaNO_3$ ও NH_4Cl-এর একটি মিশ্রণকে উত্তপ্ত করা হয়। প্রথমে NH_4NO_3 উৎপন্ন হয় এবং তারপর তার বিয়োজন ঘটে।

$$NaNO_3 + NH_4Cl = NH_4NO_3 + NaCl$$
$$NH_4NO_3 = N_2O + 2H_2O$$

এই গ্যাসকে বায়ুর অধোভ্রংশদ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

বিশুদ্ধ নাইট্রাস অক্সাইড পেতে হলে উৎপন্ন গ্যাসকে $K_2Cr_2O_7$-এর লঘু H_2SO_4 দ্রবণ, সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণ এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে চালনা করা হয়। এর দ্বারা প্রথমে N_2O ব্যতীত অপরাপর নাইট্রোজেন অক্সাইড শোষিত হয় এবং পরে Cl_2-গ্যাস কিম্বা HNO_3 বাষ্প, যদি কিছু থেকে থাকে, শোষিত হয়। শেষে গ্যাসটি শুষ্ক হয়। এই গ্যাসকে মার্কারীর অধোভ্রংশ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

এ ছাড়া আরও বহু বিক্রিয়ার ফলে N_2O গঠিত হয়। যেমন,

$$4Zn + 10HNO_3 \text{ (পাতলা)} = 4Zn(NO_3)_2 + 5H_2O + N_2O$$
$$2NO + SO_2 + H_2O = H_2SO_4 + N_2O$$
$$NH_2OH.HCl + NaNO_2 = N_2O + NaCl + 2H_2O$$

নাইট্রাস অক্সাইড মিষ্টিগন্ধ ও স্বাদযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস। ঘনত্ব 1.9777 গ্রাম/লিটার। জলে নাইট্রাস অক্সাইড দ্রবণীয়। অ্যালকোহলে আরো বেশি দ্রবণীয়।

নাইট্রাস অক্সাইডের জলীয় দ্রবণ প্রশম। অতএব এটি একটি প্রশম অক্সাইড। নাইট্রাস অক্সাইড দহনের সহায়ক। 520° থেকে 900° উষ্ণতার মধ্যে N_2O এর সম্পূর্ণ বিযোজন ঘটে, $2N_2O = 2N_2 + O_2$. 1300° উষ্ণতায় NO-ও গঠিত হয়, $2N_2O = 2NO + N_2$. প্রশ্বাসের সাথে N_2O গ্রহণ করলে এক অদ্ভুত রকমের হাসির উদ্রেক হয়। এই কারণে একে 'লাফিং গ্যাস' (laughing gas) বলা হয়।

নাইট্রাস অক্সাইড ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণে স্ফুলিংগ প্রবাহিত করে এর গঠন নির্ণয় করেন ডেভি। একটি ইউডিওমিটার নলে 25 ঘ. সে. নাইট্রাস অক্সাইড ও 25 ঘ. সে. হাইড্রোজেন গ্যাসের মিশ্রণ নিয়ে স্ফুলিংগ প্রবাহের ফলে কিছু জল উৎপন্ন হয় এবং অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন হয় 25 ঘ.সে.। অবশিষ্ট গ্যাস নাইট্রোজেন। 25 ঘ. সে. হাইড্রোজেন 12.5 ঘ. সে. অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়। অতএব 25 ঘ.সে নাইট্রাস অক্সাইডে 12.5 ঘ. সে. অক্সিজেন আছে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে একই উষ্ণতায় ও চাপে 2 আয়তন নাইট্রোজেন ও 1 আয়তন অক্সিজেনের মধ্যে সংযুক্তির ফলে 2 আয়তন নাইট্রাস অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র প্রয়োগ করে সহজেই নাইট্রাস অক্সাইডের আণবিক সংকেত N_2O পাওয়া যাবে।

N_2O অণুটি সরলরৈখিক। কিন্তু প্রতিসম না হওয়ায় এই অণুর ডাইপোল মোমেন্ট আছে। ডাইপোল মোমেন্টের মান থেকে বোঝা যায় নাইট্রাস অক্সাইড অণু রেজোন্যান্স হাইব্রিড।

$$^{-}:\ddot{N}::\overset{+}{N}::\ddot{O}: \text{ বা } \overset{-}{\bar{N}} \leftarrow \overset{+}{N}=O \text{ এবং } :N:::\overset{+}{N}:\ddot{\underset{..}{O}}:^{-} \text{ বা } N\equiv\overset{+}{N}\rightarrow O^{-}$$

11.5b. নাইট্রিক অক্সাইড (nitric oxide), NO

প্রস্তুতি : একটি ফ্লাস্কে কিছু কপারের ছিবড়ে নিয়ে তাতে 1:1 HNO_3 যোগ করলে নাইট্রিক অক্সাইড পাওয়া যায়, $3Cu + HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$। এই গ্যাসে বিভিন্ন প্রকার অশুদ্ধি থাকে। এই কারণে এই গ্যাসকে শীতল ও সম্পৃক্ত $FeSO_4$ দ্রবণের মধ্যে চালনা করা হয়। ফলে গাঢ় বাদামীরঙের একটি তরল পাওয়া যায়। এই তরলকে সামান্য উত্তপ্ত করলেই প্রায় বিশুদ্ধ নাইট্রিক অক্সাইড পাওয়া যায়, $FeSO_4 + NO = FeSO_4.NO$; $FeSO_4.NO = FeSO_4 + NO$.

এছাড়া অন্যান্য ধাতুদ্বারা HNO_3এর বিজারণের সময়েও নাইট্রিক অক্সাইড পাওয়া যায়। মার্কারীকে অল্প পরিমাণ HNO_3 যুক্ত গাঢ় H_2SO_4এর সাথে

নাড়লে বিশুদ্ধ নাইট্রিক অক্সাইড পাওয়া যায়, $2HNO_3+6Hg+3H_2SO_4=2NO+3Hg_2SO_4+4H_2O$. বিশুদ্ধ গ্যাসকে মার্কারীর অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করতে হয়।

ধর্ম ঃ বায়ু অপেক্ষা সামান্য ভারী, এটি একটি বর্ণহীন গ্যাস। জলে সামান্য দ্রবণীয়।

নাইট্রিক অক্সাইড ফেরাস সালফেট দ্রবণ দ্বারা শোষিত হয় এবং একটি দুঃস্থিত জটিল যৌগ $FeSO_4.NO$ গঠিত হয়। উৎপন্ন যৌগ তাপপ্রয়োগে ভেঙে যায় এবং NO উৎপন্ন হয়। তরল নাইট্রিক অক্সাইড ধীরে ধীরে বিযোজিত হয়, $4NO=N_2O_3+N_2O$. অ্যাসিডযুক্ত $KMnO_4$ নাইট্রিক অক্সাইডকে শোষণ করে, $3MnO_4^-+5NO+4H^+=3Mn^{+2}+5NO_3^-+2H_2O$। ক্ষারযুক্ত পারম্যাঙ্গানেটও NOকে শোষণ করে, $NO+KMnO_4=KNO_3+MnO_2$. ক্ষারীয় সালফাইট দ্রবণে NO চালনা করলে ডাইনাইট্রোসোসালফেট পাওয়া যায় $K_2SO_3+NO=K_2(NO)_2SO_3$. সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রিক অক্সাইড অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়, $2NO+O_2=2NO_2$. নাইট্রিক অক্সাইড ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত প্লাটিনামের উপর চালনা করলে অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়, $2NO+5H_2=2NH_3+2H_2O$. গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে NO-এর বিক্রিয়ার ফলে NO_2 পাওয়া যায়, $2HNO_3+NO=3NO_2+H_2O$. পাতলা নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় সবুজ রঙের N_2O_3 উৎপন্ন হয়। উত্তপ্ত সূক্ষ্ম নিকেলগুঁড়ো দ্বারা NO বিজারিত হয়, $2NO+2Ni=N_2+2NiO$.

নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাসে এক টুকরো পটাশিয়ামকে উত্তপ্ত করলে পটাশিয়াম অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয় এবং নাইট্রোজেন অবশিষ্ট থাকে। একটি ইউডিওমিটার নলে মার্কারীর উপরে গ্যাসকে আবদ্ধ করে তার মধ্যে পটাশিয়াম ঢুকিয়ে দেওয়া হয়। উত্তপ্ত করার পর ঠাণ্ডা করে আয়তন দেখা হয়। দেখা যায় একই উষ্ণতায় ও চাপে 2 আয়তন নাইট্রিক অক্সাইড থেকে 1 আয়তন নাইট্রোজেন পাওয়া যায়। অ্যাভোগ্যাড্রো সূত্র প্রয়োগে সহজেই নির্ণয় করা যাবে যে নাইট্রিক অক্সাইড অণুতে এক পরমাণু নাইট্রোজেন আছে। আবার বাষ্পঘনত্ব থেকে নাইট্রিক অক্সাইডের আণবিক ওজন পাওয়া যায় 30. অতএব নাইট্রিক অক্সাইডের সংকেত হবে NO.

নাইট্রিক অক্সাইড অণুতে একটি বিজোড় ইলেকট্রন থাকায় অণুটি প্যারাম্যাগনেটিক হবে। এটিও একটি রেজোন্যান্স হাইব্রিড। বিভিন্ন গঠনের মধ্যে একটিতে একটি তিন-ইলেকট্রন বণ্ড আছে।

$$:\dot{N}:\ddot{O}: \quad :\ddot{N}::\dot{O}: \quad :N\overset{\cdots}{:}:O: \quad \text{বা} \quad :N\overset{\cdots}{=}O:$$

11.5c. নাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইড (nitrogen trioxide), N_2O_3

প্রস্তুতি ঃ আরসেনিয়াস অক্সাইড এবং পাতলা নাইট্রিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে পাতিত করলে যে লাল রঙের বাষ্প পাওয়া যায় তাকে হিমমিশ্রে চালনা করলে একটি

ঘননীল উদ্বায়ী তরল পাওয়া যায়। এই তরলকে নাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইড বা নাইট্রাস অ্যানহাইড্রাইড মনে করা হয়।

$$As_2O_3 + 2HNO_3 + 2H_2O = N_2O_3 + 2H_3AsO_4$$

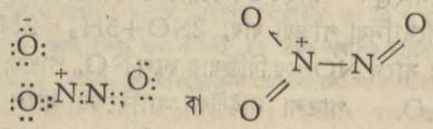
ধর্ম ঃ নাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইড ক্ষারদ্বারা শোষিত হয় এবং নাইট্রাইট লবণ উৎপন্ন হয়। গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড এই গ্যাসকে শোষণ করে নাইট্রোসো-সালফিউরিক অ্যাসিড গঠন করে।

$$N_2O_3 + 2KOH = 2KNO_2 + H_2O$$
$$N_2O_3 + 2H_2SO_4 = 2SO_2(OH)\,O.NO + H_2O$$

বিভিন্ন পরীক্ষায় দেখা যায় N_2O_3 প্রকৃতপক্ষে NO এবং NO_2 এর মিশ্রণ। এইজন্য অনেক ক্ষেত্রে নাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইডের ধর্ম NO এবং NO_2-এর ধর্মের গড়।

$$NO + NO_2 \rightleftarrows N_2O_3$$

গঠন ঃ পরীক্ষালব্ধ প্রমাণদৃষ্টে মনে হয় নাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইডের গঠন হবে



11.5d. ডাই নাইট্রোজেন টেট্রক্সাইড বা নাইট্রোজেন পারক্সাইড (Nitrogen tetroxide or peroxide), N_2O_4 এবং নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড (nitrogen dioxide), NO_2

প্রস্তুতি : N_2O_3-র নীল দ্রবণকে হিমমিশ্রে রেখে অতিরিক্ত পরিমাণ P_2O_5 যোগ করে তারপর ফোঁটা ফোঁটা ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড যোগ করলে রং হলুদ হয়ে পড়ে। একে পাতিত করলে নাইট্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায়।

$$N_2O_3 + 2HNO_3 \rightleftarrows 2N_2O_4 + H_2O$$

কিম্বা নাইট্রোসো-সালফিউরিক অ্যাসিডকে KNO_3 যোগে উত্তপ্ত করে N_2O_4 পাওয়া যায়।

$$NO.HSO_4 + KNO_3 = N_2O_4 + KHSO_4$$

নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও কপারের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে পাওয়া যায়।

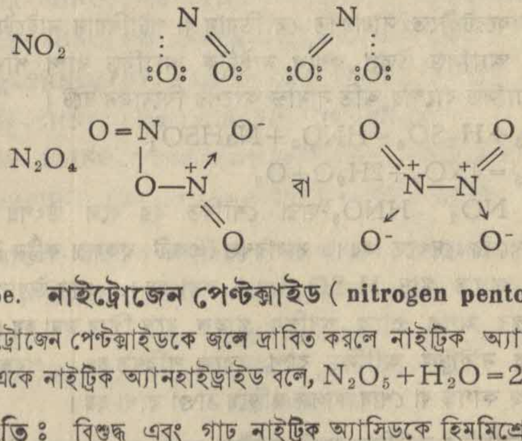
$$Cu + 4HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

ভারী ধাতুর নাইট্রেট লবণকে উত্তপ্ত করলে অনেক ক্ষেত্রে NO_2 পাওয়া যায়।

$$2Pb(NO_3)_2 = PbO + 4NO_2 + O_2$$
$$2Cu(NO_3)_2 = CuO + 4NO_2 + O_2$$

ধর্ম : হিমমিশ্রে N_2O_4 ফিকে হলুদ রংএর কেলাস গঠন করে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে N_2O_4 এর বিয়োজন ঘটে, $N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2$. সাধারণ উষ্ণতায় NO_2 একটি বাদামী রঙের গ্যাস। যদি N_2O_4 বা NO_2কে জলে দ্রাবিত করা হয় তাহলে HNO_2 ও HNO_3 পাওয়া যায়, $2NO_2 + H_2O = HNO_2 + HNO_3$. N_2O_4 দহনের সহায়ক। লোহিত-তপ্ত কপারের সাথে NO_2-এর বিক্রিয়ায় N_2 পাওয়া যায়, $2NO_2 + 4Cu = 4CuO + N_2$. এই বিক্রিয়ার সাহায্যে নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইডের আণবিক সংকেত নির্ণয় করা হয়। এর সংকেত NO_2.

গঠন : নাইট্রোজেন পারক্সাইড বা নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডের গঠন অনিশ্চিত। NO_2 গ্যাসটি রেজোন্যান্স হাইব্রিড বলে বিশ্বাস করা হয়। এর মধ্যে নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইডে একটি তিন-ইলেকট্রন বণ্ড আছে। নীচে দুটি গ্যাসের সম্ভাব্য গঠন দেওয়া হল।



11.5e. নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইড (nitrogen pentoxide), N_2O_5

নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইডকে জলে দ্রাবিত করলে নাইট্রিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। সেইজন্য একে নাইট্রিক অ্যানহাইড্রাইড বলে, $N_2O_5 + H_2O = 2HNO_3$.

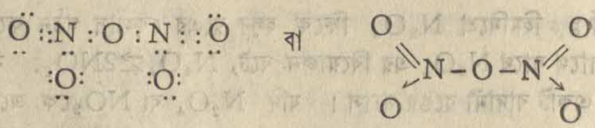
প্রস্তুতি : বিশুদ্ধ এবং গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডকে হিমমিশ্রে শীতল করে নেওয়া হয়। অতিরিক্ত পরিমাণ P_2O_5 অল্প অল্প করে যোগ করা হয়। মিশ্রণকে কম তাপমাত্রায় (অর্থাৎ কমচাপে) পাতিত করলে পাতিত অংশে N_2O_5 পাওয়া যায়। শীতল অবস্থায় N_2O_5 এর কেলাস পাওয়া যায়,

$$2HNO_3 + P_2O_5 = N_2O_5 + 2HPO_3.$$

ওজোন এবং নাইট্রোজেন পারক্সাইডের মধ্যে বিক্রিয়ায় N_2O_5 উৎপন্ন হয়,

$$N_2O_5 + O_3 = N_2O_4 + O_2.$$

ধর্ম : নাইট্রোজেন পেণ্টক্সাইডের কেলাসগুলি শীতল অবস্থায় সুস্থিত। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে বিযোজন ঘটে, $2N_2O_5 = 2NO_2 + O_2$. উত্তাপ প্রয়োগে বিস্ফোরণ ঘটে। জলের সাথে বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এবং নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় $N_2O_5, 2HNO_3$ সংকেতবিশিষ্ট কেলাস পাওয়া যায়।

গঠন ঃ 

নাইট্রিক অ্যাসিড (nitric acid), HNO_3

22·6a ভূমিকা ঃ

লবণপিষ্টক (saltpetre) এবং কপেরাস ($FeSO_4, 7H_2O$) এর মিশ্রণকে পাতিত করে প্রথম নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করেন গাটম্যান। গ্লবার (Glauber) প্রথম KNO_3 এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে পাতিত করে নাইট্রিক অ্যাসিড তৈরী করেন। ক্যাভেনডিশ (Cavendish, 1785) প্রথম নাইট্রিক অ্যাসিডের সংকেত নির্ণয় করেন। তিনি বায়ু ও অক্সিজেনের মিশ্রণে স্ফুলিংগ প্রবাহিত করে নাইট্রোজেনের অক্সাইড তৈরী করেন। এই অক্সাইডকে অতঃপর KOHএ দ্রাবিত করে দেখেন যে পটাশিয়াম নাইট্রাইট ও নাইট্রেট উৎপন্ন হয়। এ থেকে বোঝা যায় নাইট্রিক অ্যাসিডে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন আছে।

প্রস্তুতি ঃ ল্যাবরেটরীতে সাধারণত সোডিয়াম বা পটাশিয়াম নাইট্রেটের সাথে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড উত্তপ্ত করলে নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্প পাওয়া যায়। উত্তাপে নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্পের অতি সামান্য অংশের বিযোজন ঘটে।

$$NaNO_3 + H_2SO_4 = HNO_3 + NaHSO_4$$

$$4HNO_3 = 4NO_2 + 2H_2O + O_2$$

বিযোজনজাত NO_2 HNO_3-দ্বারা শোষিত হয় বলে উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিডকে হলুদ বর্ণের দেখতে হয়। সাধারণত একটি বকযন্ত্রে কঠিন $NaNO_3$ বা KNO_3 নিয়ে তাতে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করা হয়। এখন উত্তাপ প্রয়োগে উদ্ভূত বাষ্প বকযন্ত্রের অপর প্রান্তে অবস্থিত গ্রাহক যন্ত্রে গিয়ে জমা হয়। গ্রাহক যন্ত্রটি শীতল থাকায় নাইট্রিক আসিড বাষ্প তরলে পরিণত হয়। পরন্তু বকযন্ত্রের নির্গম নলকেও ভিজে কাপড় বা শোষ কাগজ জড়িয়ে ঠাণ্ডা রাখা হয়।

ধর্ম ঃ—বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড একটি বর্ণহীন তরল পদার্থ। 140° উষ্ণতায় ঘনত্ব 1.522. সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রিক অ্যাসিড সামান্য বিয়োজিত থাকে, $2HNO_3 \rightleftarrows N_2O_5 + H_2O$. অধিক উষ্ণতায় বিয়োজনমাত্রা বেশি হয়। এই অ্যাসিডে শুষ্ক বায়ু প্রেরণ করলে N_2O_5 বিদূরিত হয় এবং 98.6% অ্যাসিড পাওয়া যায়। কিন্তু কোন অবস্থাতেই সাধারণ উষ্ণতায় বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড পাওয়া যায় না।

নাইট্রিক অ্যাসিড একটি তীব্র অ্যাসিড ও জারক দ্রব্য। কয়েকটি অধাতু বা অধাতব অক্সাইড নাইট্রিক অ্যাসিড দ্বারা অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$C + 4HNO_3 = CO_2 + 4NO_2 + 2H_2O$$

$$3I_2 + 10HNO_3 = 6HIO_3 + 10NO + 2H_2O$$

$$4P + 10HNO_3 + H_2O = 4H_3PO_4 + 5NO + 5NO_2$$

$$S + 2HNO_3 = H_2SO_4 + 2NO$$

ধাতুর মধ্যে একমাত্র Mg ও Mn নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। অন্যান্য ধাতুর সাথে HNO_3-এর বিক্রিয়ায় বিভিন্ন পদার্থ উৎপন্ন হয়। কয়েকটি নীচে সমীকরণ দ্বারা দেখানো হল।

$$2HNO_3 + Mg = Mg(NO_3)_2 + H_2$$

$Cu + 4HNO_3$ (উষ্ণ ও গাঢ়) $= Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$

$3Cu + 8HNO_3 (1:1) = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$

$4Cu + 10HNO_3$ (পাতলা ও ঠাণ্ডা) $= 4Cu(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$

$5Cu$ (লোহিত তপ্ত) $+ 2HNO_3$ (বাষ্প) $= 5CuO + N_2 + H_2O$

$Zn + 4HNO_3$ (উষ্ণ ও গাঢ়) $= Zn(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$

$4Zn + 10HNO_3$ (1 : 1, ঠাণ্ডা) $= 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$

$4Zn + 10HNO_3$ (পাতলা ও ঠাণ্ডা) $= 4Zn(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$

$6Hg + 8HNO_3$ (পাতলা ও ঠাণ্ডা) $= 3Hg_2(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$

$3Hg + 8HNO_3$ (গাঢ়) $= 3Hg(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$

$Ag + 2HNO_3$ (উষ্ণ) $= AgNO_3 + NO_2 + H_2O$

$3Ag + 4HNO_3$ (ঠাণ্ডা) $= 3AgNO_3 + NO + 2H_2O$

$4Fe + 10HNO_3$ (পাতলা ও ঠাণ্ডা) $= 4Fe(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$

$Fe + 6HNO_3$ (উষ্ণ ও গাঢ়) $= Fe(NO_3)_3 + 3NO_2 + 3H_2O$

অতিগাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে বিশুদ্ধ আয়রন ডোবালে তা নিষ্ক্রিয় আয়রণে পরিণত হয়। নিষ্ক্রিয় লোহায় লোহার গুণ সাময়িকভাবে দেখা যায় না।

$4Sn + 10HNO_3$ (পাতলা ও ঠাণ্ডা) $= 4Sn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$

$5Sn + 20HNO_3$ (গাঢ়) $= H_{10}Sn_5O_{15} + 20NO_2 + 5H_2O$

মেটা স্ট্যানিক অ্যাসিড

এই বিক্রিয়া অতিবিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে হয় না।

Au, Pt, Ir প্রভৃতি ধাতু HNO_3-এ দ্রবীভূত হয় না। 1 ভাগ HNO_3 ও 3 ভাগ HCl এর মিশ্রণকে বলে **অম্লরাজ** (aqua regia)। অম্লরাজ এই সব ধাতুকেও দ্রবীভূত করে।

ধাতুর সাথে অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় সাধারণত হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। কিন্তু HNO_3 তীব্র জারক হওয়ায় ব্যতিক্রম দেখা দেয়। মোটামুটি তিনটি বিভিন্ন মতবাদ দ্বারা ধাতুর উপর HNO_3-এর ক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা হয়ে থাকে। প্রত্যেক মতবাদের পক্ষে কিছু প্রমাণ পাওয়া যায়।

(ক) আর্মস্ট্রং এবং আকওয়ার্থের (Armstrong and Ackworth, 1877) মতে প্রথমে নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। এই হাইড্রোজেন পরে HNO_3 দ্বারা জারিত হয়ে জলে পরিণত হয় এবং HNO_3 ভেঙে

নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ উৎপন্ন হয়। এই মতবাদ অনুসারে Cu ও 1 : 1 ঠাণ্ডা নাইট্রিক অ্যাসিডের ক্রিয়া এইভাবে দেখানো যায়।

$$3Cu + 6HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 6H$$
$$6H + 3HNO_3 = 3HNO_2 + 3H_2O$$
$$3HNO_2 = HNO_3 + 2NO + H_2O$$
$$\overline{3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O}$$

(খ) অনেকের মতে HNO_3 প্রথমে ধাতুকে অক্সাইডে পরিণত করে। পরে সেই অক্সাইড অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে লবণ উৎপন্ন করে। যেমন

$$3Cu + 2HNO_3 = 3CuO + 2NO + H_2O$$
$$3CuO + 6HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 3H_2O$$
$$\overline{3Cu + 8HNO_3 = 3\ Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O}$$

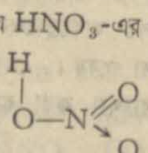
(গ) মিলন ও ভেলের (Millon and Veley, 1893) মতে HNO_3 অ্যাসিডে যে অতিসামান্য পরিমাণ HNO_2 থাকে তার বিয়োজনের ফলে প্রথমে NO উৎপন্ন হয় এবং ধাতব নাইট্রাইট গঠিত হয়। এই ধাতব নাইট্রাইট HNO_3-এর সাথে বিক্রিয়া করে পুনরায় HNO_2 গঠন করে। এই HNO_2 আগের মত ক্রিয়া করে।

$$3Cu + 12HNO_2 = 3Cu(NO_2)_2 + 6H_2O + 6NO$$
$$3Cu(NO_2)_2 + 6HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 6HNO_2$$
$$2HNO_3 + 2H_2O + 4NO = 6HNO_2$$
$$\overline{3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O}$$

HNO_3 ফেরাস সালফেটকে জারিত করে ফেরিক সালফেটে পরিণত করে এবং নিজে নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত হয়। এই NO ফেরাস সালফেট দ্বারা শোষিত হয়, $FeSO_4 + NO = FeSO_4,NO$.

নাইট্রিক অ্যাসিডের উপর বেনজিনের ক্রিয়ার দ্বারা বোঝা যায় যে নাইট্রিক অ্যাসিডে একটি OH মূলক আছে, $C_6H_6 + HNO_3 = C_6H_5NO_2 + H_2O$.

গঠন : নাইট্রিক অ্যাসিডের আণবিক সংকেত HNO_3 হওয়ায় এবং এর মধ্যে একটি OH মূলক থাকায় একে $HO-NO_2$ লেখা যায়। ইলেকট্রন ডিফ্রাকশন পরীক্ষায় জানা যায় যে HNO_3-এর গঠন নিচের মত।



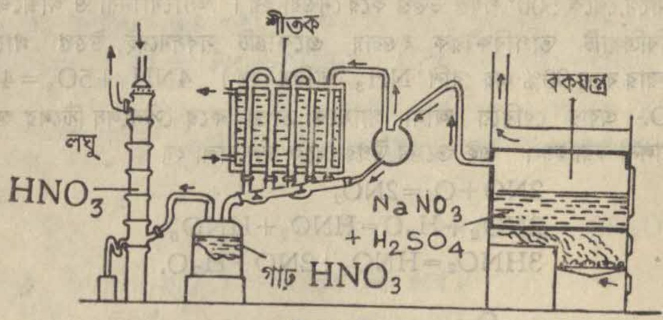
ব্যবহার : নাইট্রিক অ্যাসিডের বহুবিধ ব্যবহার আছে। বিস্ফোরক দ্রব্য প্রস্তুতিতে, সোনা দ্রাবিত করার জন্য অম্লরাজ প্রস্তুতিতে এবং ল্যাবরেটরীতে জারকদ্রব্য হিসেবে নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

11.6b. অম্লরাজ (aqua regia) : 1 ভাগ গাঢ় HNO_3 এর সাথে 3 ভাগ গাঢ় HCl মেশালে অম্লরাজ পাওয়া যায়। HNO_3-র জারণক্রিয়ার ফলে HCl থেকে জায়মান ক্লোরিন উৎপন্ন হয়। এই জায়মান ক্লোরিন ধাতুর সাথে বিক্রিয়া করে।

$$3HNO_3+9HCl=3NOCl+6Cl+6H_2O$$
$$2Au+6Cl+2HCl=2HAuCl_4$$
$$\overline{2Au+3HNO_3+11HCl=2HAuCl_4+3NOCl+6H_2O}$$

11.6c. নাইট্রিক অ্যাসিডের পণ্য উৎপাদন (manufacture of nitric acid)—(ক) চিলির লবণ ($NaNO_3$) এবং গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে বিক্রিয়ার দ্বারা HNO_3-এর পণ্য উৎপাদন করা হয়। এই পদ্ধতি ল্যাবরেটরীতেও ব্যবহৃত হয়।

$$3NaNO_3+2H_2SO_4=Na_2SO_4+NaHSO_4+3HNO_3$$



চিত্র নং ১৯

এক টন চিলির লবণের সাথে এক টনের কিছু বেশী পরিমাণ 93%H_2SO_4 একটি ঢালাই লোহার পাত্রে নেওয়া হয়। এই পাত্রটি ইটের গাঁথনীর মধ্যে অবস্থিত থাকে। এই ইঁটের দেয়ালকে উত্তপ্ত করা হয়। HNO_3বাষ্প পাত্র থেকে বেরিয়ে কতকগুলো শীতকের মধ্যে দিয়ে গিয়ে একটি স্তম্ভে জলদ্বারা শোষিত হয়।

(খ) আর্ক পদ্ধতি (arc process)—বায়ুকে একটি চুল্লীতে ইলেকট্রিক



চিত্র নং ২০

আর্কের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয়। তাপমাত্রা হয় 3000°. এই উষ্ণতায় নাইট্রোজেন

ও অক্সিজেনের সংযোগ ঘটে, $N_2+O_2=2NO$. এবার গ্যাস চুল্লী থেকে বেরিয়ে এসে ঠাণ্ডা হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে অতিরিক্ত বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে NO_2 গঠন করে। এই NO_2 একটি স্তম্ভে বা কয়েকটি স্তম্ভে জল দ্বারা শোষিত হয়।

$$2NO+O_2=2NO_2$$
$$2NO_2+H_2O=HNO_2+HNO_3$$
$$3HNO_2=HNO_3+2NO+H_2O$$

(গ) অ্যামোনিয়ার জারণ দ্বারা অস্টওয়াল্ড (Ostwald, 1902) পদ্ধতিতে HNO_3 উৎপন্ন করা যায়। হেবার পদ্ধতিতে প্রস্তুত অ্যামোনিয়াকে এখানে ব্যবহার করা হয়। 1 আয়তন অ্যামোনিয়ার সাথে 7.5 আয়তন বায়ু মিশ্রিত করে একটি প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়। এই প্রকোষ্ঠে Pt-জালি রাখা থাকে 700°C উষ্ণতায়। বায়ুকে আগে থেকে 500° পর্যন্ত উত্তপ্ত করে নেওয়া হয়। অ্যামোনিয়া ও অক্সিজেনের মধ্যে বিক্রিয়াটি তাপবিকীরক হওয়ায় প্রকোষ্ঠটি সবসময়েই উত্তপ্ত থাকে। এই বিক্রিয়ার ফলে 90% এর বেশি NH_3 জারিত হয়। $4NH_3+5O_2=4NO+6H_2O$. এবার বেরিয়ে আসা গ্যাসকে ঠাণ্ডা করে স্টেনলেস স্টিলের স্তম্ভের ভিতরে চালনা করা হয়। এই স্তম্ভের উপর থেকে জল ঢালা হয়।

$$2NO+O_2=2NO_2$$
$$2NO_2+H_2O=HNO_2+HNO_3$$
$$3HNO_2=HNO_3+2NO+H_2O.$$

11.7. নাইট্রাস অ্যাসিড (nitrous acid), HNO_2

প্রস্তুতি : যে কোন নাইট্রাইট দ্রবণে (জলীয়) লঘু অ্যাসিড যোগ করলে নাইট্রাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। নাইট্রাস অ্যাসিড গাঢ় অবস্থায় পাওয়া যায় না। এটি একটি দুঃস্থিত পদার্থ।

অনেকক্ষেত্রে নাইট্রেট লবণকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করে নাইট্রাইট লবণ পাওয়া যায়, $2NaNO_3=2NaNO_2+O_2$. কম তাপমাত্রায় $NaNO_3$ এবং Pb এর মিশ্রণকে গালিত করে $NaNO_2$ পাওয়া যায়, $NaNO_3+Pb=NaNO_2+PbO$. সোডিয়াম নাইট্রাইট জলে দ্রবণীয় হওয়ায় গলিত মিশ্রণকে জলে দ্রাবিত করে ছেঁকে অদ্রাব্য PbO থেকে পৃথক করা যাবে। যদি তাপমাত্রা বেশি হয় তাহলে $NaNO_2$-এর বিয়োজন ঘটে, $3NaNO_2=Na_2O+NaNO_3+2NO$, কিম্বা $5NaNO_2=Na_2O+3NaNO_3+N_2$. উৎপন্ন ক্ষার PbOকে দ্রবীভূত করে এবং সেক্ষেত্রে পৃথকীকরণ জটিল হয়। তখন HNO_3 যোগ করে উৎপন্ন ক্ষারকে প্রশমিত করা হয়, এবং PbO অদ্রাব্য হিসেবে অধঃক্ষিপ্ত হয়। ছেঁকে নিয়ে পরিস্রুত থেকে কেলাসন প্রক্রিয়ায় $NaNO_2$ কেলাস পাওয়া যায়। একইভাবে পটাশিয়াম নাইট্রাইট উৎপন্ন হয়। KNO_2কে অ্যালকোহল দ্রাবক থেকে কেলাসিত করা হয়। $BaCl_2$-এর

গরম এবং প্রায় সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে $NaNO_2$-এর সম্পৃক্ত দ্রবণ যোগ করে $BaNO_2$ পাওয়া যায়। সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণে $NaNO_2$-এর জলীয় দ্রবণ যোগ করলে $AgNO_2$ পাওয়া যায়।

নাইট্রাস অ্যাসিডের বিশুদ্ধ জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায় $Ba(NO_2)_2$ এর সঙ্গে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়া ঘটিয়ে। অদ্রাব্য $BaSO_4$ কে ছেঁকে ফেলা হয়। $Ba(NO_2)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4 + 2HNO_2$.

ধর্ম ঃ HNO_2 জলীয় দ্রবণে অল্প বিয়োজিত থাকে। এইজন্য দ্রবণের রং ফিকে নীল হয়।

$$2HNO_2 \rightleftarrows N_2O_3 + H_2O \rightleftarrows NO + NO_2 + H_2O$$

লঘু দ্রবণে বিয়োজন হয় $3HNO_2 = HNO_3 + 2NO + H_2O$.

নাইট্রাস অ্যাসিড একটি ক্ষীণ অ্যাসিড। কপার, সিলভার বা বিসমাথ নাইট্রাস অ্যাসিড দ্রবণে দ্রবীভূত হয়, $Ag + 2HNO_2 = AgNO_2 + NO + H_2O$.

নাইট্রাস অ্যাসিড ও নাইট্রাইট লবণগুলি বিজারক। আম্লিক $KMnO_4$, K_2CrO_4 দ্রবণ বা ব্রোমিন জলের সাথে ক্রিয়ায় এই বিজারণক্ষমতা দেখানো যেতে পারে।

$$2MnO_4^- + 5NO_2^- + 6H^+ = 2Mn^{+2} + 5NO_3^- + 3H_2O$$

নাইট্রাস অ্যাসিড জারকদ্রব্য হিসেবেও ক্রিয়া করে।

$$2I^- + 2NO_2^- + 4H^+ = I_2 + 2NO + 2H_2O$$

এই বিক্রিয়াদ্বারা HNO_2 এর উপস্থিতি পরীক্ষা করা যায়। উৎপন্ন আয়োডাইড স্টার্চ দ্রবণসিক্ত কাগজকে নীল করবে।

গঠন ঃ নাইট্রাস অ্যাসিডের গঠন $H-O-N=O$ বা $H{:}\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}{:}\ddot{N}{::}\ddot{O}{:}$

এবং $H-\underset{\substack{\downarrow \\ O}}{N}=O$ বা $H{:}\underset{\substack{\cdot\cdot \\ :O: \\ \cdot\cdot}}{N}{::}\ddot{O}$

11.8 হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিড (hyponitrous acid), $H_2N_2O_2$

প্রস্তুতি ঃ জলীয় বাষ্পমুক্ত হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের ইথারীয় দ্রবণে সিলভার হাইপোনাইট্রাইট যোগ করে ছেঁকে নেওয়া হয়। পরিস্রুতকে শূন্যে বাষ্পীভূত করলে কঠিন হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$Ag_2N_2O_2 + 2HCl = H_2N_2O_2 + 2AgCl$$

শুষ্ক অবস্থায় হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিডের বিস্ফোরণ ঘটে।

সোডিয়াম হাইপোনাইট্রাইটের অ্যাসেটিক অ্যাসিড দ্রবণে $AgNO_3$ যোগ করে সিলভার হাইপোনাইট্রাইট তৈরী করা যায়। সোডিয়াম অ্যামালগাম দ্বারা $NaNO_2$-এর গাঢ় জলীয় দ্রবণকে বিজারিত করে সোডিয়াম হাইপোনাইট্রাইট পাওয়া যায়। সোডিয়াম হাইড্রক্সিলামিন মোনোসালফোনেটের ক্ষারীয় আর্দ্র'-বিশ্লেষের ফলে সোডিয়াম হাইপোনাইট্রাইট পাওয়া যায়।

$$2HONHSO_3Na + 4NaOH = Na_2N_2O_2 + 2Na_2SO_3 + 4H_2O$$

ইথারে থিতানো $LiAlH_4$ এর মধ্যে NO প্রবাহিত করলে $H_2N_2O_2$ পাওয়া যায়।

ধর্ম ঃ হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে বিযোজিত হয়, $H_2N_2O_2 = N_2O + H_2O$. অ্যাসিড বা ক্ষারীয় পারম্যাঙ্গানেট এই অ্যাসিডকে জারিত করে। প্রথম ক্ষেত্রে নাইট্রিক অ্যাসিড এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে নাইট্রাইট পাওয়া যায়। সোডিয়াম হাইপোনাইট্রাইট উত্তাপে ভেঙে যায়, $3Na_2N_2O_2 = NaNO_2 + 2Na_2O + 2N_2$.

গঠন ঃ হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিডের আণবিক সংকেত $H_2N_2O_2$ এবং এর অ্যান্টিবিন্যাস (anti-configuration) গঠন

$$\begin{array}{l} HO-N \\ \quad\;\; \| \\ \quad\;\; N-OH \end{array}$$

নিচের তথ্যগুলি থেকে প্রমাণিত হয়।

(ক) অ্যাসিডটি দ্বিক্ষারীয়, কারণ দুইশ্রেণীর লবণ পাওয়া যায়, BaN_2O_2 এবং $Ba(HNO_2)_2$, (খ) ক্রাইওস্কোপীয় পদ্ধতিতে নির্ণীত আণবিক সংকেত $H_2N_2O_2$, (গ) ইথাইল হাইপোনাট্রাইটের সংকেত $(C_2H_5)_2N_2O_2$ এবং এর ডাইপোল মোমেণ্ট অতি সামান্য।

11.9. হাইপোনাইট্রিক অ্যাসিড (hyponitric acid), $H_2N_2O_3$

এই অ্যাসিড মুক্ত অবস্থায় দুঃস্থিত হওয়ায় এর সোডিয়াম লবণ তৈরী করা হয়। হাইড্রক্সিলামিন ও সোডিয়াম মিথক্সাইডের মিথাইল অ্যালকোহল দ্রবণে মিথাইল নাইট্রেট যোগ করে এই লবণ পাওয়া যায়।

$$NH_2OH + CH_3NO_3 + 2CH_3ONa = Na_2N_2O_3 + 3CH_3OH$$

সোডিয়াম হাইপোনাইট্রেটে অ্যাসিড যোগ করলে নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস উদ্ভূত হয়, $H_2N_2O_3 = H_2O + 2NO$. উত্তাপে $Na_2N_2O_3$ বিযোজিত হয়। $2Na_2N_2O_3 = Na_2N_2O_2 + 2NaNO_2$. এই অ্যাসিডের গঠন সুনিশ্চিতভাবে জানা যায়নি। NO_2NHOH বা $HO-O-N=NOH$ হতে পারে।

11.10. নাইট্রামাইড (nitramide), NO_2NH_2

সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা পটাশিয়াম নাইট্রোকার্বনেট-এর বিয়োজন ঘটিয়ে নাইট্রামাইড পাওয়া যায়।

$$KO{\cdot}CO{\cdot}NK{\cdot}NO_2 + H_2SO_4 = CO_2 + NO_2NH_2K_2SO_4$$

নাইট্রামাইডকে ইথারে দ্রবীভূত করে কেলাসিত করা হয়।

এই যৌগটি হাইপোনাইট্রাস অ্যাসিডের আইসোমার। এর গঠন এখনও সুনিশ্চিৎভাবে জানা যায়নি।

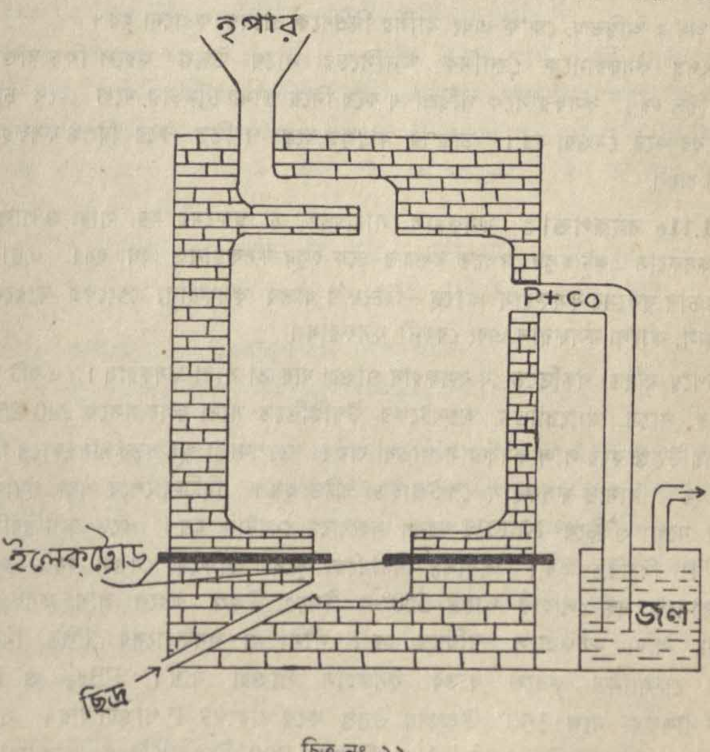
ফসফরাস (Phosphorus)

সংকেত P পরমাণুভার 30 975.

11.11a আবিষ্কার ঃ

ফসফরাস আবিষ্কারের সঙ্গে চার জনের নাম জড়িয়ে আছে। এরা হলেন ব্র্যাণ্ড (Brand), বয়েল (Boyle), কুনকেল (Kunckel) এবং গাহ্‌ন্ (Gahn)। এরা প্রত্যেকেই কোন না কোনরকম ভাবে ফসফরাস আবিষ্কার করেন।

অবস্থিতি (occurence) ঃ ফসফরাস প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। ফসফরাসের বিভিন্ন যৌগের মধ্যে ফ্লুওর অ্যাপাটাইট $3Ca_3(PO_4)_2$, CaF_2,



চিত্র নং ২১

ক্লোরঅ্যাপাটাইট $3Ca_3(PO_4)$, $CaCl_2$. ফসফরাইট $Ca_3(PO_4)_2$, ভিভিয়ানাইট $Fe_3(PO_4)_2,8H_2O$ এবং ওয়েভলাইট $4AlPO_4,2Al(OH)_3,9H_2O$ উল্লেখ

যোগ্য। এছাড়া জীবজন্তু বা গাছের টিস্যুতে ফসফরাস পাওয়া যায়। অস্থিতে প্রচুর পরিমাণ ফসফরাস থাকে। প্রকৃতপক্ষে অস্থিভস্ম থেকে ফসফরাস প্রস্তুত করা হয়ে থাকে।

11.11b. প্রস্তুতি : বর্তমানে রীডম্যান-পার্কার-রবিনসন পদ্ধতিতে ফসফরাস প্রস্তুত করা হয়। এই পদ্ধতিতে অস্থিভস্মের (80% $Ca_3(PO_4)_2$) সাথে কোক কয়লা ও বালি মিশিয়ে একটি বৈদ্যুতিক চুল্লীতে আর্কচালনা করে উত্তপ্ত করা হয়। বালি ক্যালসিয়াম ফসফেট থেকে P_2O_5 মুক্ত করে। এই ফসফরাস পেণ্টক্সাইড কোকদ্বারা বিজারিত হয়ে ফসফরাসে পরিণত হয়। $Ca_3(PO_4)_2+3SiO_2 =3CaSiO_3+P_2O_5$; $P_2O_5+5C=2P+5CO$. উৎপন্ন ফসফরাস বাষ্পাবস্থায় নির্গমনলের মধ্য দিয়ে বাইরে বেরিয়ে এসে জলের মধ্যে প্রবেশ করে ও তথায় কঠিন হিসেবে সঞ্চিত হয়। ক্যালসিয়াম সিলিকেট ধাতুমল হিসেবে চুল্লীর তলদেশে একটি ছিদ্রদ্বারা অপসারিত হয়। বৈদ্যুতিক চুল্লীটি অগ্নিসহ ইটের তৈরী। দুটি গ্যাসকার্বন দণ্ড ইলেকট্রোডের কাজ করে। উপরে একটি হপারের মধ্য দিয়ে 'চার্জ' অর্থাৎ অস্থিভস্ম. কোক এবং বালির মিশ্রণকে প্রবেশ করানো হয়।

উৎপন্ন ফসফরাসকে ক্রোমিক অ্যাসিডের সাথে উত্তপ্ত করলে কিছু অশুদ্ধি অপসারিত হয়। ফসফরাসকে পরিস্রাবণ করে নিয়ে শ্যাময় চামড়ার মধ্যে রেখে চাপ দিয়ে বের করে নেওয়া হয়। তারপর বায়ুশূন্য যন্ত্রে পাতিত করে বিশুদ্ধ ফসফরাস পাওয়া যায়।

11.11c বহুরূপতা : ফসফরাস সাধারণত দু রকমের হয়. সাদা ও লাল। সাদা ফসফরাস একটু হলুদ দেখতে হওয়ায় একে হলুদ ফসফরাসও বলা হয়। এছাড়া আরও চার রকমের ফসফরাস আছে—হিটর্ফের ধাতব ফসফরাস, শেংকের স্কারলেট ফসফরাস, কালো ফসফরাস এবং বেগনী ফসফরাস।

উপরে বর্ণিত পদ্ধতিতে যে ফসফরাস পাওয়া যায় তা সাদা ফসফরাস। একটি বদ্ধ লোহার পাত্রে অ্যায়োডিন অনুঘটকের উপস্থিতিতে সাদা ফসফরাসকে 240-250° উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে লাল ফসফরাস পাওয়া যায়। তাপমাত্রা খুব সতর্কতাসহকারে ঠিক রাখা হয়। সামান্য ফসফরাস পেণ্টক্সাইড গঠিত হয়। বিক্রিয়াশেষে শক্ত পদার্থটি জলের মধ্যে গুঁড়িয়ে NaOH দ্রবণ সহযোগে ফোটান হয়। এতে অপরিবর্তিত সাদা P বিদূরিত হয়। অবশিষ্ট পদার্থকে ধুয়ে শুকিয়ে নেওয়া হয়। লাল ফসফরাসকে বদ্ধ লোহার পাত্রে 550°-র উপরে উত্তপ্ত করলে লাল ফসফরাস পুনরায় সাদা ফসফরাসে পরিণত হয়। সীসা ও ফসফরাসের গলিত মিশ্রণ থেকে কেলাসিত করলে ধাতব ফসফরাস পাওয়া যায়। PBr_3 ও Hg একটি সীলকরা নলে 150° উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে স্কারলেট P পাওয়া যায়। সাদা ফসফরাসকে 12000 কিলোগ্রাম/বর্গ সে. মি. চাপে 200° উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে কালো ফসফরাস পাওয়া যায়। যদি চাপ বাড়িয়ে 130,000 কিলোগ্রাম/ব. সে. করা যায় তাহলে এবং একটু সোডিয়াম যোগ করলে বেগনী ফসফরাস পাওয়া যায়।

11 11d. সাদা ফসফরাসের ধর্ম ঃ সাদা ফসফরাস অল্পস্বচ্ছ নরম মোমের মত পদার্থ। একে ছুরি দিয়ে কাটা যায়। আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·83. আলোর স্পর্শে সাদা ফসফরাস হলুদবর্ণের হয়। বায়ুর স্পর্শে ফসফরাস জ্বলে ওঠে বলে সাধারণভাবে একে জলের তলায় রাখা হয়। সাদা ফসফরাসের গলনাংক ও স্ফুটনাংক যথাক্রমে 44° এবং 287°. স্ফুটনাংকে সাদা ফসফরাসের বাষ্পের আণবিক সংকেত P_4. 700° উষ্ণতার উপরে বিয়োজন ঘটে $P_4 \rightleftarrows 2P_2$. উচ্চ উষ্ণতায় আরও বিয়োজন ঘটে $P_2 \rightleftarrows 2P$. CS_2 দ্রাবকে ফরফরাসের আণবিক সংকেত P_4.

সাদা ফসফরাস জলে খুব সামান্য পরিমাণে দ্রবণীয়, কিন্তু অপরাপর কয়েকটি অজৈব এবং জৈব দ্রাবকে বেশ ভালো পরিমাণে দ্রাব্য। যেমন PCl_3, S_2Cl_2, C_6H_6; CS_2 প্রভৃতি। সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুর সাথে স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ায় P_2O_5 গঠিত হয়। এই সময় একটি সবুজ আলো পাওয়া যায়। সামান্য উত্তাপে শুষ্ক বায়ুর সংস্পর্শে P জ্বলে ওঠে এবং P_2O_5 গঠিত হয়। $4P+5O_2=2P_2O_5$. হ্যালোজেনের সাথে বিক্রিয়া অতি দ্রুত হয়। অনেক ক্ষেত্রে বিস্ফোরণ ঘটে। $2P+5Cl_2=2PCl_5$, $2P+5Br_2=2PBr_5$ এবং $2P+3I_2=2PI_3$.

সাদা ফসফরাস অত্যন্ত বিষাক্ত। এমনকি 0.15 গ্রাম একটি মানুষের মৃত্যুর পক্ষে যথেষ্ট। গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড সাদা ফসফরাসকে ফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত করে। গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সাথে উত্তপ্ত করলে সাদা ফসফরাস H_3PO_3তে পরিণত হয়। সাদা ফসফরাস একটি বিজারক দ্রব্য। ঠাণ্ডা ও গরম অবস্থায় $CuSO_4$-এর সাথে নিচের মত বিক্রিয়া হয়।

$$2P+5CuSO_4+8H_2O=5Cu+2H_3PO_4+5H_2SO_4$$
$$3P+3CuSO_4+6H_2O=Cu_3P+2H_3PO_3+3H_2SO_4$$

উত্তপ্ত ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় PH_3 উৎপন্ন হয়।

$$P_4+3NaOH+3H_2O=3NaH_2PO_2+PH_3$$

11.11e. লাল ফসফরাসের ধর্ম ঃ বাণিজ্যিক লাল P একটি লাল পাউডার। এটি বিষাক্ত নয়। উচ্চচাপে গলনাংক 59·5°। সাধারণভাবে উত্তপ্ত করলে সরাসরি বাষ্পে পরিণত হয়। লাল P সাদা P-এর থেকে অনেক কম ক্রিয়াশীল। বায়ুতে কোনরূপ আলো বিকীরণ করে না। 240° উষ্ণতার নীচে বায়ুর সাথে কোন ক্রিয়া নেই। উত্তাপ না দিলে ক্লোরিনের সাথেও বিক্রিয়া হয় না। CS_2-এ এবং তপ্ত NaOH দ্রবণে লাল P অদ্রাব্য। উত্তপ্ত নাইট্রিক অ্যাসিডে লাল P দ্রবীভূত হয়।

স্কারলেট ফসফরাস ঃ

একটি স্কারলেট রঙের গুঁড়ো, লাল ফসফরাসের থেকে বেশি ক্রিয়াশীল। এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.876 এবং এটি বিষাক্ত নয়। ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় PH_3 গঠন করে।

কালো ফসফরাস :

394° তে উর্ধপাতিত হয় এবং 560° তে বেগনী P-এ পরিণত হয়। গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে দ্রুত বিক্রিয়া করে। এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 2·69 এবং গলনাংক 587·5°.

বেগনী ফসফরাসের গলনাংক 589·5°, আপেক্ষিক গুরুত্ব 2·35.

11.11f শীতল শিখা (cold flame) : একটি ফ্লাস্কে কিছু সাদা ফসফরাস নিয়ে গ্লাসউল দিয়ে সেই ফসফরাসকে ঢেকে রাখা হয়। মুখের ছিপির ভিতর দিয়ে ফ্লাস্কের মধ্যে একটি প্রবেশ নল ও একটি নির্গম নল ঢোকানো হয়। প্রবেশ নলটি ফ্লাস্কের তলা পর্যন্ত যায়। ফ্লাস্কটিকে জলগাহে উত্তপ্ত করা হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রবেশ নলের ভিতর দিয়ে শুষ্ক কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাস চালনা করা হয়। এই সময়ে নির্গমনলের মুখে একটি সবুজ শিখা দেখা যাবে। এই শিখার কোন উত্তাপ নেই। এই শিখায় হাত দিলে হাত পোড়ে না। এইজন্য একে **শীতল শিখা** বলে।

বায়ুতে সাদা ফসফরাসের জারণ ঘটে। সাদা ফসফরাসকে বায়ুতে ফেলে রাখলে ফসফরাসের অক্সাইড গঠিত হয় এবং একটি সবুজ আলো নির্গত হতে দেখা যায়। এই সবুজ আলোর প্রকৃতি সঠিক জানা যায় নি। এই সবুজ আলো নির্গত হওয়াকে **অনুপ্রভা** (phosphorescence) বলে।

11.11g. সাদা ও লাল ফসফরাসের ধর্মের তুলনা।

ধর্ম	সাদা ফসফরাস	লাল ফসফরাস
রং	বর্ণহীন বা সামান্য হলুদ	লাল বা বেগনী-লাল
গঠন	স্বচ্ছ, মোমের মত কঠিন	কঠিন
গন্ধ	রসুনের গন্ধ	গন্ধহীন
গলনাংক	44°	592·5° (উচ্চ চাপে)
আপেক্ষিক গুরুত্ব	1·83	2·1—2·2
দ্রাব্যতা	জলে অদ্রাব্য, CS_2-এ দ্রবণীয়	জল ও CS_2-এ অদ্রাব্য
শারীরিক ক্রিয়া	বিষাক্ত	বিষাক্ত নয়
ক্ষারের ক্রিয়া	উষ্ণ ক্ষারের সাথে PH_3 গঠন করে	ক্রিয়া নেই
বায়ুর ক্রিয়া	বায়ুতে প্রজ্বলিত হয় এবং অনুপ্রভা দেখা যায়	বায়ুতে আপনাআপনি জ্বলে না, অনুপ্রভা দেখা যায় না
ক্লোরিনের ক্রিয়া	PCl_3 বা PCl_5 গঠিত হয়	উত্তপ্ত অবস্থায় ক্রিয়া করে

11.11h দিয়াশলাই (matches) : প্রথম ঘর্ষণ-দিয়াশলাই প্রস্তুতকারক ইংলণ্ডের জন ওয়াকার (1827)। তার আগে চ্যান্সেল এক ধরণের দিয়াশলাই আবিষ্কার করেন। এই দিয়াশলাইএ সালফার প্রলেপিত কাঠের টুকরোর মুখে $KClO_3$

ও চিনির মিশ্রণ লাগানো থাকত। এই কাঠের টুকরোকে সালফিউরিক অ্যাসিড-সিক্ত অ্যাসবেসটসে ডুবিয়ে দিলেই আগুন জ্বলে উঠত। ওয়াকারের দিয়াশলাইয়ে কাঠের টুকরোর মুখে থাকত অ্যান্টিমনি সালফাইড পটাশিয়াম ক্লোরেট ও আঠার মিশ্রণ। 1833 সালে প্রেশেলের (Preschel) তৈরী দিয়াশলাইয়ে কাঠের টুকরোর মুখে সাদা ফসফরাস, $KClO_3$, গ্লু এবং কিছু রং লাগানো থাকত। এই দিয়াশলাইকে যে কোন খসখসে তলে ঘষলেই আগুন জ্বলত। সাদা ফসফরাস থাকায় এই দিয়াশলাই সহজেই জ্বলে উঠত এবং এটা খুব বিষাক্তও ছিল। এজন্য এই দিয়াশলাই কারখানার শ্রমিকদের মধ্যে ফসফরাস-ঘটিত ব্যাধি দেখা দিত। এতে হাড়ের খুবই ক্ষতি হয়। ফলে সাদা ফসফরাসের পরিবর্তে লাল ফসফরাস ব্যবহার করার প্রয়োজন অনুভূত হয়। বটগার (Bottger, 843) প্রথম লাল ফসফরাসযুক্ত নিরাপদ দিয়াশলাই আবিষ্কার করেন। দিয়াশলাইয়ের কাঠের টুকরোকে অ্যান্টিমনি সালফাইড, পটাশিয়াম ক্লোরেট, রেড লেড পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট এবং আঠার মিশ্রণ দ্বারা প্রলেপিত করা হয়। এই দিয়াশলাইকে লাল ফসফরাস, অ্যান্টিমনি সালফাইড, বালি এবং আঠার মিশ্রণে উৎপন্ন কোন খসখসে তলে ঘষলে তবেই আগুন জ্বলে। তাই এই দিয়াশলাই নিরাপদ।

সাধারণভাবে **নিরাপদ, নিরাপদ-ঘর্ষণ** এবং **লুসিফার** দিয়াশলাই প্রস্তুত করা হয়। নিরাপদ ঘর্ষণ দিয়াশলাইকে যে কোন জায়গায় ঘষলেই আগুন জ্বলে। এই দিয়াশলাইএ থাকে স্কারলেট ফসফরাস, পটাশিয়াম ক্লোরেট, রেড লেড, গ্লু এবং সামান্য রং। লুসিফার দিয়াশলাইএ থাকে সাদা ফসফরাস। ফসফরাসের বেশির ভাগই দিয়াশলাই উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

ফসফরাসের হাইড্রাইডসমূহ

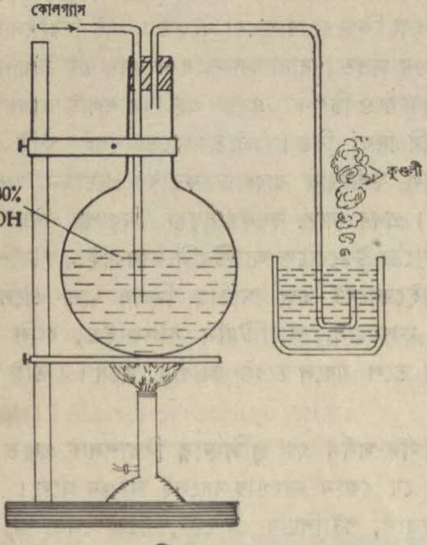
11.12a **ফসফিন** (**phosphine**) PH_3

প্রস্তুতি : সাদা ফসফরাসকে 30%NaOH দ্রবণের সাথে কোল গ্যাসের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করে ফসফিন পাওয়া যায়। যে ফ্লাস্কে এই বিক্রিয়া ঘটানো হয় তার নির্গম নলটি একটি জলপূর্ণ দ্রোণীর মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে। জলপূর্ণ দ্রোণী থেকে ফসফিন বুদ্বুদের আকারে বাইরে বেরিয়ে এলে তাতে বায়ুর সংস্পর্শে আগুন ধরে যায় এবং সাদা ধোঁয়ার কুণ্ডলী বেরিয়ে আসে। বস্তুতপক্ষে কিছু P_2H_4 তৈরী হয় এবং P_2H_4-ই বায়ুর সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে।

$$4P+3NaOH+3H_2O=PH_3+3NaH_2PO_2$$
$$6P+4NaOH+4H_2O=P_2H_4+4NaH_2PO_2$$

উৎপন্ন ফসফিনকে HIপূর্ণ গ্যাসজারে চালনা করলে কঠিন ফসফনিয়াম

আয়োডাইড (PH_4I) গঠিত হয়। P_2H_4 বা অন্যান্য অপদ্রব্য HI এর সাথে বিক্রিয়া করে না। PH_4I কে NaOH দ্রবণে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ ফসফিন পাওয়া যায়। $PH_4I + NaOH = PH_3 + NaI + H_2O$. এই গ্যাসকে জলমুক্ত করার জন্য কঠিন KOH ও P_2O_5 এর উপর দিয়ে প্রবাহিত করানো যেতে পারে।



চিত্র নং ২২

প্রোটিনজাতীয় পদার্থের পচনের ফলে বা মৃত্তিকাস্থিত ফসফেটের ব্যাকটিরিয়া-বিযোজন দ্বারা ফসফিন উৎপন্ন হয়।

ধর্ম ঃ ফসফিন একটি বর্ণহীন গ্যাস। এর পচা মাছের গন্ধের মত গন্ধ আছে। এটি বিষাক্ত।

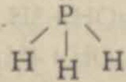
উত্তাপে বা বিদ্যুৎস্ফুলিংগ প্রবাহে PH_3 বিযোজিত হয়, $2PH_3 = 2P + 3H_2$. বায়ু-মিশ্রিত ফসফিনের বিস্ফোরণ ঘটে কমচাপে এবং ক্লোরিন গ্যাসে PH_3 আপনা-আপনি জ্বলে ওঠে, $PH_3 + 3Cl_2 = PCl_3 + 3HCl$, $PH_3 + 4Cl_2 = PCl_5 + 3HCl$. উত্তপ্ত কপারের সাথে বিক্রিয়ায় কপার ফসফাইড গঠিত হয়। HCl যুক্ত Cu_2Cl_2 দ্রবণ PH_3 শোষণ করে। HI এর সাথে বিক্রিয়ায় PH_4I গঠিত হয়, $PH_3 + HI = PH_4I$

HCl এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় পাওয়া যায় PH_4Cl. এই ধর্মগুলি NH_3-র ধর্মের অনুরূপ। অবশ্য PH_3 ক্ষারকীয় নয়। গাঢ় $AgNO_3$ দ্রবণে PH_3 চালনা করলে প্রথমে সিলভার ফসফাইড উৎপন্ন হয়। দ্রবণটিকে লঘু করলে কালো ধাতব সিলভার পাওয়া যায়।

$$PH_3 + 6AgNO_3 = Ag_3P, 3AgNO_3 + 3HNO_3$$

$$Ag_3P, 3AgNO_3 + 3H_2O \quad 6Ag + 3HNO_3 + H_3PO_3.$$

গঠন ঃ ফসফিনের গঠন NH_3-র মত,



11.12b. ফসফরাস ডাইহাইড্রাইড (Phosphorus dihydride), P_2H_4

হাইড্রোজেন গ্যাসের উপস্থিতিতে ক্যালসিয়াম ডাইফসফাইড ও জলের মধ্যে বিক্রিয়াদ্বারা P_2H_4 প্রস্তুত করা যায়। এই গ্যাসকে ঠাণ্ডা করে তরলে পরিণত করা হয়। যদি হাইড্রোজেন গ্যাসের উপস্থিতিতে এই বিক্রিয়া না ঘটানো হয় তা হলে বায়ুর স্পর্শে আগুন জ্বলে ওঠে।

$$Ca_2P_2 + 4H_2O = 2Ca(OH)_2 + P_2H_4$$

P_2H_4 একটি বর্ণহীন তরল পদার্থ। বায়ুতে এই গ্যাস আপনাআপনি জ্বলে ওঠে। এর স্ফুটনাংক 51.8°. জলে অমিশ্রণযোগ্য। সময়ের সাথে এই হাইড্রাইডের বিযোজন ঘটে এবং তার ফলে ফসফিন পাওয়া যায়। এই সময়ে $P_{12}H_6$ সংকেত-বিশিষ্ট একটি কঠিন পদার্থও পাওয়া যায়।

11 12c. ফসফনিয়াম যৌগসমূহ—ফসফিন অ্যামোনিয়ার মত ফসফনিয়াম PH_4^+ আয়ন গঠন করে। ফসফনিয়াম যৌগসমূহের মধ্যে PH_4I মোটামুটি সুস্থিত যৌগ। বাকীগুলি দুঃস্থিত।

ফসফনিয়াম আয়োডাইড, PH_4I : PH_3 ও HI গ্যাসের মধ্যে সাধারণ উষ্ণতায় বিক্রিয়া ঘটিয়ে PH_4I পাওয়া যায়। 30°-র উপরে এর বিয়োজন ঘটে। PH_4I কেলাসকে ঊর্ধ্বপাতিত করা যায়। P, I_2 ও জলের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলেও PH_4I উৎপন্ন হয়, $2P + I_2 + 4H_2O = PH_4I + H_3PO_4 + HI$. এই বিক্রিয়ায় কিছু পরিমাণে HIও গঠিত হয়। সাদা ফসফরাসকে CS_2-এ দ্রাবিত করে বায়ুমুক্ত এবং CO_2-পূর্ণ একটি বকযন্ত্রে নেওয়া হয়। পরিমাণমত I_2 যোগ করে বকযন্ত্রটিকে জলগাহে উত্তপ্ত করা হয়। ফলে সমস্ত CS_2 পাতিত হয়ে যায়। উৎপন্ন ফসফরাস আয়োডাইডে জল যোগ করে উত্তপ্ত করা হয়। PH_4I বাষ্পীভূত হয়ে শীতক নলের মধ্যে দিয়ে গিয়ে গ্রাহকযন্ত্রে জমা হয়।

PH_4I জল ও ক্ষারের সাথে নিচের মত বিক্রিয়া করে।

$$PH_4I + H_2O \rightleftarrows PH_3 + HI + H_2O$$
$$PH_4I + KOH = PH_3 + KI + H_2O$$

ফসফরাসের হ্যালাইডসমূহ

ফসফরাস ও হ্যালোজেনের মধ্যে সংযোগের ফলে PX_3 ও PX_5 সংকেতবিশিষ্ট দুই শ্রেণীর যৌগ গঠিত হয়। X = F, Cl, Br, I, এছাড়া P_2Cl_4 ও P_2I_4 পাওয়া যায়। PI_5 সম্ভবত গঠিত হয় না।

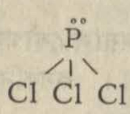
11.13a. ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইড, PCl_3 : কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাস-পূর্ণ বকযন্ত্রে শুষ্ক সাদা ফসফরাসের উপর দিয়ে শুষ্ক ক্লোরিন প্রবাহিত করা হয় এবং

বকযন্ত্রটিকে জলগাহে উত্তপ্ত করা হয়। PCl_3 গঠিত হয়ে পাতিত হয় এবং শীতকের মধ্যে দিয়ে গিয়ে গ্রাহকযন্ত্রে জমা হয়। ফসফরাসের উপর থায়োনিল ক্লোরাইডের ক্রিয়ায়ও PCl_3 গঠিত হয়, $P+2SOCl_2=2PCl_3+2SO_3+S_2Cl_2$.

এটি একটি বর্ণহীন তরল পদার্থ। NH_3-র সাথে $PCl_3, 6NH_3$ এবং $PCl_3, 8NH_3$ গঠন করে। জলের সাথে তীব্র বিক্রিয়া হয়, $PCl_3+3H_2O=H_3PO_3+3HCl$. উষ্ণ ও গাঢ় H_2SO_4 এর সাথে, S_2Cl_2 এর সাথে এবং SO_2 এর সাথে PCl_3 এর নিচের মত বিক্রিয়া হয়।

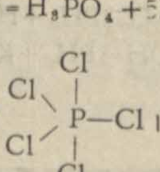
$$PCl_3+2H_2SO_4=SO_3HCl+SO_2+2HCl+HPO_3$$
$$3PCl_3+S_2Cl_2=PCl_5+2PSCl_3$$
$$PCl_3+SO_2=POCl_3+SO_2.$$

গঠন—PCl_3-এর গঠন পিরামিডাকৃতি



11 13b. ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড, PCl_5 : P-কে অতিরিক্ত ক্লোরিনে পোড়ালে PCl_5 পাওয়া যায়। শুষ্ক ক্লোরিন গ্যাসপূর্ণ একটি ফ্লাস্কে তরল PCl_3 যোগ করলে PCl_5 পাওয়া যায়, $PCl_3+Cl_2=PCl_5$.

PCl_5 একটি ফিকে হলদে-সবুজ কঠিন পদার্থ। উত্তাপে PCl_5 সরাসরি বাষ্পীভূত হয়। 300° বা তার বেশি উষ্ণতায় PCl_5 সম্পূর্ণ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, $PCl_5 \rightleftarrows PCl_3+Cl_2$. বাষ্পঘনত্ব PCl_5এর ক্ষেত্রে এই কারণে অস্বাভাবিক হয়। PCl_5 এর 5টি Cl-পরমাণুর মধ্যে 2টি খুবই ক্রিয়াশীল। এই কারণে অনেক ধাতু PCl_5 এর সাথে বিক্রিয়া করে ক্লোরাইড গঠন করে, $PCl_5+Zn=PCl_3+ZnCl_2$. অল্প জলের সাথে বিক্রিয়ায় ফসফরাস অক্সিক্লোরাইড গঠিত হয়, $PCl_5+H_2O=POCl_3+2HCl$। জলের পরিমাণ বেশি হলে ফসফরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়, $PCl_5+4H_2O=H_3PO_4+5HCl$.

গঠন : PCl_5 এর সম্ভাব্য গঠন ।

11 13c. ফসফরাস অক্সিক্লোরাইড, $POCl_3$: তরল PCl_3 ও $KClO_3$কে একত্রে পাতিত করলে $POCl_3$ পাওয়া যায়। $3PCl_3+KClO_3=3POCl_3+KCl$ অথবা PCl_5-এর সাথে অক্সালিক বা বোরিক অ্যাসিডের ক্রিয়ায় $POCl_3$ পাওয়া যায়, $3PCl_5+2H_3BO_3=3POCl_3+B_2O_3+6HCl$; $PCl_5+H_2C_2O_4=POCl_3+CO+CO_2+2HCl$.

ফসফোরাইট ($Ca_3(PO_4)_2$) কে অ্যাক্টিভেটেড কার্বন ও ক্লোরিন গ্যাস সহযোগে 400° পর্যন্ত উত্তপ্ত করলে $POCl_3$ পাওয়া যায়।

$Ca_3(PO_4)_2 + 6C + 6Cl_2 = 2POCl_3 + 3CaCl_2 + 6CO.$

P_2O_5 এবং PCl_5 এর মিশ্রণকে সীলকরা নলে উত্তপ্ত করলেও $POCl_3$ পাওয়া যায়, $3PCl_5 + P_2O_5 = 5POCl_3$,

$POCl_3$ জলের সাথে বিক্রিয়ায় H_3PO_4 গঠন করে। Zn-ধুলো এবং অতিরিক্ত পরিমাণ জলের সাথে বিক্রিয়ায় গঠিত হয় ফসফিন।

গঠন: $POCl_3$-এর গঠন হবে

$$O \leftarrow P\begin{matrix} \diagup Cl \\ -Cl \\ \diagdown Cl \end{matrix}$$ ।

ফসফরাসের অক্সাইড ও অক্সি-অ্যাসিডসমূহ:

ফসফরাস তিনরকম অক্সাইড গঠন করে। ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড P_2O_3, ফসফরাস টেট্রক্সাইড P_2O_4 এবং ফসফরাস পেণ্টক্সাইড P_2O_5.

ফসফরাসের অক্সিঅ্যাসিডসমূহের মধ্যে হাইপোফসফরাস অ্যাসিড H_3PO_2, ফরফরাস অ্যাসিড H_3PO_3, হাইপোফসফরিক অ্যাসিড $H_4P_2O_6$, অর্থোফসফরিক অ্যাসিড H_3PO_4, পাইরোফসফরিক অ্যাসিড $H_4P_2O_7$ এবং মেটাফসফরিক অ্যাসিড HPO_3 উল্লেখযোগ্য। এছাড়া দুটি পার-অ্যাসিড পাওয়া যায়—পারমোনো-ফসফরিক অ্যাসিড H_3PO_5 এবং পারডাইফসফরিক অ্যাসিড $H_4P_2O_8$.

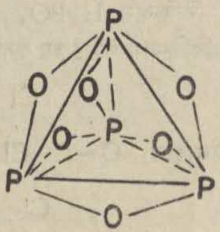
11 14a. ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড, P_2O_3: সীমিত পরিমাণ বায়ু বা অক্সিজেন প্রবাহে সাদা ফসফরাসকে পোড়ালে ফরফরাস ট্রাইঅক্সাইড পাওয়া যায়। সঙ্গে কিছু পেণ্টক্সাইডও গঠিত হয়। $4P + 3O_2 = 2P_2O_3$; $4P + 5O_2 = 2P_2O_5$. ট্রাইঅক্সাইড ও পেণ্টক্সাইডের মিশ্রিত বাষ্পকে ঠাণ্ডা করলে প্রথমে 60°তে P_2O_5 কঠিনে পরিণত হয়। P_2O_5-এর বাষ্প আরও কম তাপমাত্রায় P_2O_3 কঠিনে পরিণত হয়।

সাদা ফসফরাসকে একটি টিউবে নেওয়া হয়। এই টিউবটি একটি লিবিগ শীতকের সাথে যুক্ত। এই শীতকের শেষমুখে কিছু গ্লাসউল দিয়ে একটি প্লাগ সৃষ্টি করা হয় এবং মুখটি একটি U-নলের সাথে যুক্ত করা হয়। U-নলটি হিমমিশ্রে ডোবানো থাকে। শীতকের মধ্যে উষ্ণ জল (60°) প্রবাহিত করা হয়। এখন শুষ্ক বায়ু টিউবটিতে প্রেরণ করলে এবং সাথে সাথে টিউবটিকে উত্তপ্ত করলে P_2O_3 ও P_2O_5 গঠিত হবে। P_2O_5 শীতকে জমা হবে, আর P_2O_3 জমা হবে U-নলে।

ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত একটি বর্ণহীন কঠিন পদার্থ। গলনাঙ্ক 23.8°. এটি বিষাক্ত পদার্থ। বাষ্পঘনত্ব পরিমাপের দ্বারা এর সংকেত পাওয়া যায়

P_4O_6. P_2O_3 জলের সাথে বিক্রিয়ায় H_3PO_3 গঠন করে, $P_2O_3+3H_2O=2H_3PO_3$. ফুটন্ত জলের সাথে বিক্রিয়ায় বিস্ফোরণ ঘটে এবং ফসফিন, লাল ফসফরাস ফসফরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

গঠন : প্রাথমিক সংকেত P_2O_3. বাষ্পঘনত্ব পরিমাপ দ্বারা প্রাপ্ত সংকেত P_4O_6. গঠন এরকম



11.14b. **ফসফরাস টেট্রক্সাইড** P_2O_4 : একটি সীলকরা নলে তরল P_2O_3কে 440° পর্যন্ত উত্তপ্ত করলে P_4O_{10}এর বাষ্প পাওয়া যায়। সঙ্গে কিছু লাল ফসফরাসের অবশেষ পাওয়া যায়, $2P_4O_6=3P_2O_4+2P$. P_2O_5 এবংP_2O_3র মিশ্রণকে একটি সীল করা নলে 290° পর্যন্ত উত্তপ্ত করলেও P_2O_4 পাওয়া যায়।

বাষ্পঘনত্ব নির্ণয়ে যে সংকেত পাওয়া যায় তা হল P_8O_{16}. জলের সাথে P_2O_4 বিক্রিয়া করে ফসফরাস অ্যাসিড ও ফসফরিক অ্যাসিড গঠন করে।

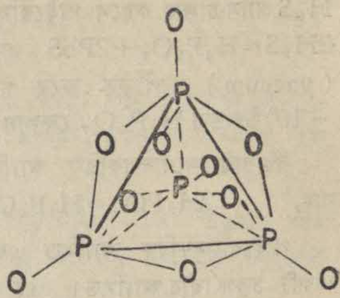
$$P_2O_4+3H_2O=H_3PO_3+H_3PO_4.$$

11.14c. **ফসফরাস পেন্টক্সাইড**, P_2O_5 : বায়ুতে ফসফরাসের দহনের ফলে P_2O_5 পাওয়া যায়। এটি খুবই সুস্থিত পদার্থ। সাধারণ P_2O_5এ কিছু P_2O_3 এবং HPO_3 মিশ্রিত থাকে। একে শুষ্ক বায়ুপ্রবাহে পাতিত করে বিশুদ্ধ P_2O_5 পাওয়া যায়। $4P+5O_2=2P_2O_5$.

P_2O_5 একটি কঠিন পদার্থ। 250° উষ্ণতায় বাষ্পীভূত হয়, কিন্তু 440° উষ্ণতার উপরে উত্তপ্ত করলে কঠিনের আয়তন হ্রাস পায় এবং গলনাঙ্কের প্রচুর বৃদ্ধি ঘটে। বাষ্পঘনত্ব পরিমাপের দ্বারা এর সংকেত পাওয়া যায় P_4O_{10}. কম তাপমাত্রায় আলোর স্পর্শে P_2O_5এর প্রতিপ্রভা দেখা যায়। জলের প্রতি P_2O_5এর তীব্র আসক্তি দেখা যায়। গ্যাস থেকে জলীয় বাষ্প শোষণের কাজে P_2O_5 ব্যবহার করা হয়। জলে P_2O_5 যোগ করলে হিসহিস শব্দ হয় এবং মেটাফসফরিক অ্যাসিড হয়, $P_2O_5+H_2O=2HPO_3$. জলের মধ্যে রেখে দিলে মেটাফসফরিক অ্যাসিড ক্রমশ পাইরো এবং অর্থোফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$2HPO_3+H_2O=H_4P_2O_7,\ HPO_3+H_2O=H_3PO_4.$$

গঠন ঃ P_2O_5এর গঠন এরকম



11.15 অর্থোফসফরিক অ্যাসিড, H_3PO_4 ঃ ফসফরাসকে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে উত্তপ্ত করলে অর্থোফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$P_4 + 10HNO_3 + H_2O = 4H_3PO_4 + 5NO + 5NO_2$$

ফসফরাস ও গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের মিশ্রণ একটি রিফ্লাক্স শীতকযুক্ত পাত্রে নেওয়া হল। বিক্রিয়াশেষে যখন মিশ্রণটি $AgNO_3$ দ্রবণযোগে কোন কালো অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে না (H_3PO_3 থাকলে অধঃক্ষেপ হবে) তখন জল যোগ করা হয়। দ্রবণটিকে একটি চীনেমাটির থালার উপরে রেখে বাষ্পীভূত করা হয় 180° পর্যন্ত। সিরাপের মত H_3PO_4 পাওয়া যায় এবং একে শোষকাধারে রেখে শুষ্ক করা হয়।

বিশুদ্ধ P_2O_5কে জলে গুলে বিশুদ্ধ H_3PO_4 পাওয়া যায়।

সাধারণত অস্থিভস্ম বা ফসফোরাইট ($Ca_3(PO_4)_2$) থেকে H_3PO_4 তৈরী করা হয়। $Ca_3(PO_4)_2$এর সাথে 1.5 আপেক্ষিক গুরুত্বের H_2SO_4 মিশিয়ে অল্প আঁচে উত্তপ্ত করা হয়। অদ্রাব্য $CaSO_4$-কে ছেঁকে বাদ দেওয়া হয় এবং পরিস্রুতকে উত্তপ্ত করে ঘন করা হয়। এইভাবে সিরাপের মত অ্যাসিড পাওয়া যায়।

সাধারণ উষ্ণতায় বিশুদ্ধ ফসফরিক অ্যাসিড মোনোক্লিনিক কেলাস গঠন করে। গলনাঙ্ক 42.4°. $2H_3PO_4, H_2O$ সংকেতবিশিষ্ট পদার্থের গলাংক 29.3°. অর্থোফসফরিক অ্যাসিড ত্রি-ক্ষারীয় হওয়ায় প্রাইমারী (NaH_2PO_4), সেকেণ্ডারী (Na_2HPO_4) এবং টারশিয়ারী (Na_3PO_4), এই তিনশ্রেণীর লবণ পাওয়া যায়; 250° উষ্ণতায় অর্থোঅ্যাসিড পাইরোঅ্যাসিডে পরিণত হয়, $2H_3PO_4 = H_4P_2O_7 + H_2O$, 3 6° উষ্ণতায় মেটা-অ্যাসিড পাওয়া যায়, $H_3PO_4 = HPO_3 + H_2O$ অথবা $H_4P_2O_7 = 2HPO_3 + H_2O$ এবং লোহিত তাপে P_2O_5 পাওয়া যায়, $2HPO_3 = P_2O_5 + H_2O$.

11.16. পাইরোফসফরিক অ্যাসিড, $H_4P_2O_7$: 240° উষ্ণতায় সোডিয়াম ফসফেট সোডিয়াম পাইরোফসফেটে পরিণত হয় ($Na_4P_2O_7$)। সোডিয়াম পাইরোফসফেটের জলীয় দ্রবণে $Pb(NO_3)_2$এর জলীয় দ্রবণ যোগ করলে অধঃক্ষিপ্ত $Pb_2P_2O_7$ পাওয়া যায়। জলে থিতানো অবস্থায় এই $Pb_2P_2O_7$ এর মধ্যে

H_2S গ্যাস চালনা করলে পাইরোফসফরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়, $Pb_2P_2O_7 + 2H_2S = H_4P_2O_7 + 2PbS$. অধঃক্ষিপ্ত PbSকে পৃথক করে দ্রবণটিকে শূন্যে (vacuum) বাষ্পীভূত করে গাঢ় করা হয়। এখন দ্রুত শীতলীকরণের ফলে $-10°$ উষ্ণতায় $H_4P_2O_7$ কেলাস পাওয়া যায়।

সরাসরি অর্থোফসফরিক অ্যাসিডকে 250°-তে উত্তপ্ত করে $H_4P_2O_7$ পাওয়া যায়, $2H_3PO_4 = H_4P_2O_7 + H_2O$.

পাইরোফসফরিক অ্যাসিড একটি কেলাসিত কঠিন পদার্থ। গলনাংক 6°. এটি একটি চতুক্ষারীয় অ্যাসিড। এই অ্যাসিড সুস্থিত লবণ গঠন করে। 316° উষ্ণতায় মেটাফসফরিক অ্যাসিডে এবং জলযোগে অর্থোফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

11.17 **মেটাফসফরিক অ্যাসিড,** $(HPO_3)n$: মেটাফসফরিক অ্যাসিড পলিমার হিসেবে থাকে। অর্থো বা পাইরোফসফরিক অ্যাসিডকে 316°তে উত্তপ্ত করলে $(HPO_3)n$ পাওয়া যায়। অ্যামোনিয়াম ফসফেটকে উত্তপ্ত করলেও $(HPO_3)n$ পাওয়া যায়, $(NH_4)_2HPO_4 = HPO_3 + 2NH_3 + H_2O$. এবং $nHPO_3 = (HPO_3)n$.

$(HPO_3)n$ একটি স্বচ্ছ সান্দ্র পদার্থ। শ্বেততপ্ত অবস্থায় সরাসরি বাষ্পীভূত হয়। জলে দ্রবণীয় এবং দ্রবণে H_3PO_4 উৎপন্ন হয়। লেড মেটাফসফেটের সাথে H_2S এর বিক্রিয়ায় $(HPO_3)n$ সংকেতবিশিষ্ট অ্যাসিড পাওয় যায়।

11.18 **ফসফরাস অ্যাসিড,** H_3PO_3 : ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষের ফলে ফসফরাস অ্যাসিড পাওয়া যায়, $PCl_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl$. জলের মধ্যে ফসফরাসকে গলানো হয় এবং সেই জলের মধ্যে Cl_2-গ্যাস চালনা করা হয়। প্রথমে PCl_3 গঠিত হয়। সঙ্গে সঙ্গে PCl_3-এর আর্দ্রবিশ্লেষের ফলে ফসফরাস অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এই দ্রবণকে 180° উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে HCl বিদূরিত হয়। তখন ঠাণ্ডা করলে H_3PO_3-এর কেলাস পাওয়া যায়।

ফসফরাস অ্যাসিড কেলাস গঠন করে। গলনাংক 73.6°. এটি একটি দ্বিক্ষারীয় অ্যাসিড। 200° উষ্ণতায় এর বিয়োজন ঘটে, $4H_3PO_3 = PH_3 + 3H_3PO_4$. এই অ্যাসিড মোটামুটি শক্তিশালী বিজারক, $2AgNO_3 + H_3PO_3 + H_2O = 2Ag + 2HNO_3 + H_3PO_4$. ফসফরাস অ্যাসিড আয়োডিন বা পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের দ্রবণের দ্বারা ধীরে ধীরে জারিত হয়।

11.19 **হাইপোফসফরাস অ্যাসিড,** H_3PO_2 : বেরিয়াম হাইপো-ফসফাইটের সাথে পরিমাণ মত পাতলা H_2SO_4 এর বিক্রিয়া ঘটিয়ে হাইপোফসফরাস অ্যাসিড পাওয়া যায়, $Ba(H_2PO_2)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4 + H_3PO_2$. একটি ফ্লাস্কে হাইড্রোজেনের উপস্থিতিতে সাদা ফসফরাসকে ব্যারাইটাযোগে উত্তপ্ত করলে $Ba(H_2PO_2)_2$ পাওয়া যাবে, $2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O = 2PH_3$

$+3Ba(H_2PO_2)_2$. অদ্রাব্য বেরিয়াম ফসফেটকে পৃথক করে দ্রবণ থেকে কেলাসিত করে $Ba(H_2PO_2)_2$, H_2O পাওয়া যায়।

উৎপন্ন H_3PO_2-এর দ্রবণকে 130°-র নিচে উত্তপ্ত করে সিরাপের মত করা হয়। এরপর 0°-তে ঠাণ্ডা করে P_2O_5 দ্বারা একটি শোষকাধারের মধ্যে শুষ্ক করলে একটি বর্ণহীন কঠিন পাওয়া যায়।

হাইপোফসফরাস অ্যাসিড একটি একক্ষারীয় অ্যাসিড। 130° উষ্ণতায় এর বিয়োজন ঘটে, $2H_3PO_2=H_3PO_4+PH_3$. এই অ্যাসিড এবং এর লবণগুলি শক্তিশালী বিজারক।

$$H_3PO_2+4AgNO_3+2H_2O=4Ag+H_3PO_4+4HNO_3$$
$$3H_3PO_2+4CuSO_4+6H_2O=4CuH+3H_3PO_4+4H_2SO_4.$$

11.20 হাইপোফসফরিক অ্যাসিড, $H_4P_2O_6$ **:** সাদা ফসফরাসকে HNO_3 যুক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ সহযোগে উত্তপ্ত করলে সিলভার ফসফাইড এবং সিলভার হাইপোফসফেট উৎপন্ন হয়। দ্রবণটিকে ছেঁকে নিয়ে ঠাণ্ডা করা হয় এবং কঠিন $Ag_4P_2O_6$ পাওয়া যায়। এই কঠিনের উপর HCl যোগ করা হয়। অদ্রাব্য AgCl ছেঁকে পৃথক করে দ্রবণকে বায়ুশূন্য শোষকাধারে ঠাণ্ডা করা হয় $H_4P_2O_6$, $2H_2O$ সংকেতবিশিষ্ট কেলাস পাওয়া যায়। এ থেকে সহজেই জল উবে যায়।

কঠিন $H_4P_2O_6$এর গলনাংক 70°. 180° উষ্ণতায় এর বিয়োজন ঘটে, $4H_4P_2O_6=PH_3+HPO_3+3H_3PO_4$। এটি একটি চতুক্ষারীয় অ্যাসিড। এর বিজারণক্ষমতা আছে। $KMnO_4$ দ্রবণ একে জারিত করে। হাইপোফসফরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণের ধীরে ধীরে ডিসপ্রোপোরশানেশন ঘটে,

$$H_4P_2O_6+H_2O=H_3PO_4+H_3PO_3.$$

11.21. পারঅক্সি মোনোফসফরিক অ্যাসিড, H_3PO_5, ফসফরাস পেন্টক্সাইডের সাথে কম উষ্ণতায় 30% H_2O_2 এর বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হয়। **পারডাইফসফরিক অ্যাসিড,** $H_4P_2O_8$, কম উষ্ণতায় পাইরোফসফরিক এবং 30% H_2O_2 -এর বিক্রিয়ার ফলে পাওয়া যায়।

11.22. ফসফরাসের অক্সি অ্যাসিড সমূহের গঠন

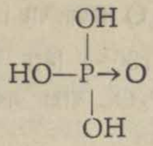
অর্থোফসফরিক অ্যাসিড ঃ ফসফরাস অক্সিক্লোরাইডের সংকেত $O=PCl_3$.

$$Cl_3P\text{-}Cl_2 + 2\,HOH = Cl_3P(OH)_2 = Cl_3P{=}O+H_2O$$

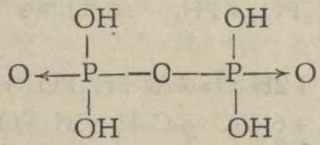
$POCl_3$-এর সাথে জলের ক্রিয়ায় অর্থোফসফরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$O=PCl_3+3H_2O = O=P(OH)_3+3HCl.$$

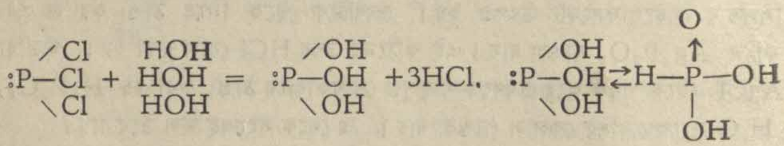
অতএব H_3PO_4 এর গঠন



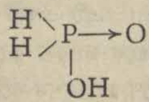
পাইরোফসফরিক অ্যাসিড ঃ



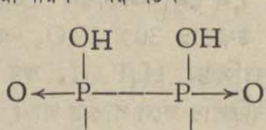
ফসফরাস অ্যাসিড PCl_3 এর আর্দ্রবিশ্লেষের ফলে পাওয়া যায়। সুতরাং এর গঠন হবে নিচের মত।



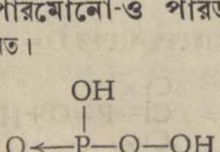
হাইপোফসফরাস অ্যাসিড, H_3PO_2, একক্ষারীয় হওয়ায় এর গঠন হবে



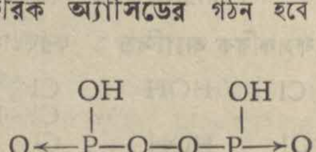
হাইপোফসফরিক অ্যাসিডের সংকেত $H_4P_2O_6$. লবণ এবং এস্টারের সংকেত থেকে এই সংকেত পাওয়া যায়। এর গঠন



পারমোনো-ও পারডাই-ফসফরিক অ্যাসিডের গঠন হবে I ও II এর মত।



I



II

11.23. ফসফেট লবণসমূহ

তিনটি ফসফরিক অ্যাসিড থাকায় তিন রকমের ফসফেট পাওয়া যায়। অর্থো' পাইরো ও মেটাফসফেট। এদের মধ্যে আবার প্রশম ও অ্যাসিড লবণ পাওয়া যায়। যেমন অর্থোফসফরিক অ্যাসিড ত্রিক্ষারীয় হওয়ায় তিনশ্রেণীর অর্থো ফসফেট পাওয়া যায়, প্রাইমারী, সেকেণ্ডারী ও টারশিয়ারী। যেমন NaH_2PO_4, Na_2HPO_4 অ্যাসিড এবং Na_3PO_1. পাইরোফসফরিক চতুক্ষারীয় হলেও কেবলমাত্র দুই শ্রেণীর লবণ পাওয়া যায়, অ্যাসিড পাইরোফসফেট এবং প্রশম পাইরোফসফেট। যেমন $Na_2H_2P_2O_7$ এবং $Mg_2P_2O_7$. মেটাফসফরিক অ্যাসিড থেকে কেবলমাত্র একশ্রেণীর লবণ পাওয়া যায়, মেটাফসফেট। যেমন $(NaPO_3)n$.

11.23a অর্থোফসফেট ঃ টারশিয়ারী বা নর্ম্যাল ফসফেট লবণের মধ্যে ক্ষারীয় ধাতুর ফসফেটগুলি জলে দ্রবণীয় (Li_3PO_4 ব্যতীত)। অন্য সব নর্ম্যাল ফসফেট পাতলা HCl-এ দ্রবণীয়, কিন্তু জলে অদ্রাব্য। নর্ম্যাল ফসফেটের জলীয় দ্রবণ ক্ষারীয়। সেকেণ্ডারী ফসফেটের জলীয় দ্রবণ প্রায় প্রশম এবং প্রাইমারী ফসফেটের জলীয় দ্রবণ আম্লিক।

ক্ষারীয় দ্রবণে অধিকাংশ ফসফেট অদ্রাব্য হওয়ায় কোন মিশ্রণে যদি ফসফেট লবণের সাথে রাসায়নিক বিশ্লেষণের IIIA থেকে V নম্বর গ্রুপের কোন ধাতু থাকে তাহলে II নম্বর গ্রুপের পর NH_4Cl এবং NH_4OH যোগ করলে দ্রবণ ক্ষারীয় হওয়া মাত্র এই সমস্ত ধাতুর ফসফেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। ফলে রাসায়নিক বিশ্লেষণে জটিলতা দেখা দেয়। এইজন্য II নম্বর গ্রুপের ধাতুগুলি অপসারিত হবার পর ফসফেট মূলককে পৃথক করে নিতে হয়। এর জন্য অনেক পদ্ধতি আছে। ল্যাবরেটরীতে সাধারণত অ্যাসেটেট বাফার পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও সোডিয়াম অ্যাসেটেটের মিশ্রণে যে বাফার উৎপন্ন হয় তাতে কেবলমাত্র Fe, Al বা Cr-এর ফসফেটগুলি অদ্রাব্য, বাকী ফসফেটগুলি দ্রবণীয়। এই অবস্থায় দ্রবণে বাফার দ্রবণ যোগ করে Fe^{+3} আয়ন ($FeCl_3$-দ্রবণ) যোগ করলে $FePO_4$ হিসেবে সম্পূর্ণ ফসফেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। এইভাবে ফসফেট মূলক অপসারণ করা হয়। বিভিন্ন শ্রেণীর ফসফেটের উপর তাপের ক্রিয়া নিচে দেখানো হল।

$$nNaH_2PO_4 = (NaPO_3)n + nH_2O$$

$$2Na_2HPO_4 = Na_4P_2O_7 + H_2O$$

Na_3PO_4 উত্তাপ প্রয়োগে গলে যায়, অন্য কোন পরিবর্তন হয় না।

11.23b. পাইরো ও মেটাফসফেট ঃ ক্ষারীয় ধাতুর পাইরোফসফেটগুলি জলে দ্রবণীয়। $Na_4P_2O_7$ পাওয়া যায় Na_2HPO_4 কে উত্তপ্ত করে। $MgNH_4PO_4$ কে উত্তপ্ত করে $Mg_2P_2O_7$ পাওয়া যায়, $2MgNH_4PO_4 = Mg_2P_2O_7 + 2NH_3 + H_2O$.

মেটাফসফেট পলিমার হিসেবে থাকে। NaH_2PO_4কে উত্তপ্ত করে ট্রাইমার $(NaPO_3)_3$ এবং উঁচু পলিমার পাওয়া যায়। কিন্তু যদি উত্তাপ প্রয়োগে NaH_2POকে গলিয়ে ঠাণ্ডা করা হয় তাহলে একটি স্বচ্ছ কাচের মত পদার্থ পাওয়া যায়। গলনাংক 640°C. একে গ্রাহামের লবণ বলে। $NaNH_4HPO_4, 4H_2O$কে উত্তপ্ত করে গলিয়েও গ্রাহাম লবণ পাওয়া। গ্রাহাম লবণকে সোডিয়াম হেক্সামেটাফসফেট বলা হয়, কিন্তু আসলে এটি একটি উঁচু পলিমার। এই গ্রাহাম লবণের জটিল লবণ গঠনের ক্ষমতা আছে। এই জটিল লবণ গঠনের দ্বারা জলের Ca^{2+} ও Mg^{2+} আয়ন অপসারণ করা যায়। এইজন্য জল মৃদুকরণে এর ব্যবহার আছে। বাজারে ক্যালগন (calgon) নামে একে বিক্রি করা হয়।

আর্সেনিক

সংকেত As, পরমাণুভার 74.39

হার্জ পর্বতে এবং জাপানে কিছু পরিমাণ আর্সেনিক মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। এছাড়া যুক্ত অবস্থায় আর্সেনিক পাওয়া যায় রিয়্যালগার As_2S_2 (লাল), আর্পিমেণ্ট As_2S_3 (হলুদ), আরসেনোলাইট As_2O_3 (সাদা), আর্সেনিক্যাল আয়রন $FeAs_2$, আর্সেনিক্যাল নিকেল NiAsS, ক্লোয়ানথাইট $NiAs_2$, নিকোলাইট NiAs, মিসপিকেল FeAsS, কোবাল্ট ব্লুম $Co_3(AsO_4)_2, 8H_2O$ প্রভৃতি হিসেবে।

11.24a. নিষ্কাশন ঃ প্রথমে আর্সেনিকযুক্ত প্রাকৃতিক যৌগকে ভর্জন করা হয়। এই সময়ে আর্সেনিয়াস অক্সাইড তৈরী হয়। এই আর্সেনিয়াস অক্সাইড ঊর্ধ্বপাতিত হয়ে যন্ত্রের শীতল অংশে সাদা পাউডার হিসেবে জমা হয়।

$$4CoAsS + 9O_2 = 4CoO + 4SO_2 + 2As_2O_3$$

আর্সেনিয়াস অক্সাইডের সাথে কার্বন মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে আর্সেনিক পাওয়া যায়। মাটির ক্রুসিব্‌ল্‌এ এই মিশ্রণ নেওয়া হয় এবং ক্রুসিব্‌ল্‌-এর উপরে একটি লোহার শঙ্কু দিয়ে ঢাকা থাকে। উৎপন্ন আর্সেনিক লোহার শঙ্কুর মধ্যে গিয়ে জমা হয়, $As_2O_3 + 3C = 2As + 3CO$

বাজারের আর্সেনিকের অধিকাংশই মিসপিকেলকে উত্তপ্ত করে পাওয়া যায়। একটি মাটির নলে মিসপিকেল নেওয়া হয় এবং এই নলের অর্ধেকটা জুড়ে একটি লোহার নল ঢোকানো থাকে। মাটির নলকে উত্তপ্ত করলে As বাষ্পীভূত হয়ে অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা লোহার নলে গিয়ে জমা হয়, $FeAsS = FeS + As$.

ধর্ম ঃ আর্সেনিকেরও ফসফরাসের মত একাধিক রূপ আছে। মোটামুটি আর্সেনিকের তিনটি রূপ দেখা যায়, α, β ও γ. α-আর্সেনিক হলুদ রঙের, ঘনত্ব 2·096 এবং কার্বন ডাইসালফাইডে দ্রবণীয়। আলোকের উপস্থিতিতে α-আর্সেনিক অতিক্রত γ-আর্সেনিকে পরিণত হয়। β-আর্সেনিক কালো রঙের, ঘনত্ব 4·74 এবং

কার্বন ডাই সালফাইডে অদ্রাব্য। γ-আর্সেনিক ধূসর রঙের, ঘনত্ব 5.73 এবং কার্বন ডাই সালফাইডে অদ্রাব্য। সাধারণ আর্সেনিক γ-আর্সেনিক। 100° উষ্ণতায় আর্সেনিক ধীরে ধীরে বাষ্পীভূত হয় এবং 450°-র উপরে ঊর্ধ্বপাতন ঘটে। বাষ্প-ঘনত্ব পরিমাপের দ্বারা জানা যায় এর আণবিক সংকেত As_4. আর্সেনিক অধাতু, তবে N বা P-এর থেকে এর ধাতব প্রকৃতি বেশি। আর্সেনিককে প্রকৃতপক্ষে ধাতু-কল্প (metalloid) বলা যায়। শুষ্ক বায়ুতে As-এর কোন পরিবর্তন হয় না। কিন্তু 400°-র উপরে বায়ুর সাথে বিক্রিয়া ঘটে, $4As+3O_2=2As_2O_3$. ক্লোরিনের সাথে বিক্রিয়ায় সাধারণ উষ্ণতায় $AsCl_3$ গঠিত হয়। বায়ুর উপস্থিতিতে HClএ আর্সেনিক দ্রবীভূত হয়। পাতলা ও ঠাণ্ডা নাইট্রিক অ্যাসিডের কোন ক্রিয়া দেখা যায় না, কিন্তু উষ্ণ ও পাতলা নাইট্রিক অ্যাসিড ধীরে ধীরে আর্সেনিককে আর্সেনিয়াস অক্সাইডে পরিণত করে। গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড আর্সেনিককে H_3AsO_4-এ পরিণত করে। উষ্ণ ও গাঢ় H_2SO_4 ও As-এর বিক্রিয়ায় As_2O_3 এবং SO_2 গঠিত হয়। ক্ষারের জলীয় দ্রবণের কোন ক্রিয়া নেই, কিন্তু গলিত ক্ষারক আর্সেনিককে আর্সেনাইট লবণে পরিণত করে, $2As+6NaOH=2Na_3AsO_3+3H_2$.

ব্যবহার : আর্সেনিকঘটিত যৌগ প্রস্তুতিতে এবং লেড ও কপারের সাথে সংকর ধাতু প্রস্তুতির জন্য আর্সেনিক ব্যবহৃত হয়।

আর্সেনিক যৌগসমূহ

11.25a. আরসাইন, (arsine or arseniuretted hydrogen), AsH_3 :

As_2O_3কে জায়মান হাইড্রোজেনদ্বারা বিজারিত করে আরসাইন পাওয়া যায়, $As_2O_3+12H=2AsH_3+3H_2O$. জায়মান হাইড্রোজেন Zn এর সাথে অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় পাওয়া যায়। As এবং Zn-কে একত্র একটি ঢাকা মুচিতে উত্তপ্ত করলে জিংক আরসেনাইড Zn_3As_2 পাওয়া যায়। এই Zn_3As_2-এর উপরে পাতলা HCl-এর ক্রিয়ার ফলেই AsH_3 পাওয়া যায়। উৎপন্ন গ্যাসকে তরল বায়ুদ্বারা শীতলীকৃত নলের মধ্যে চালনা করা হয়। আরসাইন তরলীভূত হয়, কিন্তু হাইড্রোজেন গ্যাস হিসেবে বেরিয়ে যায়। AlA থেকে উষ্ণ জলযোগেই আরসাইন পাওয়া যায়, $AlAs+3H_2O=Al(OH)_3+AsH_3$.

আরসাইন বর্ণহীন, বিষাক্ত গ্যাস। জলে অদ্রাব্য। আর্দ্র আরসাইন আলোক দ্বারা বিশ্লিষ্ট হয় এবং আর্সেনিক পৃথক হয়ে পড়ে। 230°-র উপরে AsH_3 বিযোজিত হয়, $2AsH_3=2As+3H_2$. অগ্নিসংযোগে আরসেনিয়াস অক্সাইড গঠিত হয়। $AgNO_3$ দ্রবণে AsH_3 চালনা করলে ধাতব Ag অধঃক্ষিপ্ত হয়। সেক্ষেত্রে AsH_3 বিজারক। $HgCl_2$-এর জলীয় দ্রবণে AsH_3 চালনা করলে প্রথমে হলুদ

১৬

রঙের $AsH(HgCl)_2$, তারপরে বাদামী রঙের $As(HgCl)_3$ এবং সবশেষে কালো রঙের মার্কারী আর্সেনাইড Hg_3As_2 গঠিত হয়।

11.26a আরসেনিয়াস অক্সাইড, As_2O_3 : আর্সেনিককে বায়ুতে পোড়ালে As_2O_3 পাওয়া যায়। এছাড়া আর্সেনিকযুক্ত যে কোন আকরিকের ভর্জনের সময় As_2O_3 পাওয়া যায়। As-নিষ্কাশনের সময় প্রথমে As_2O_3 প্রস্তুত হয়। সেইজন্য As_2O_3-এর প্রস্তুতির জন্য As-নিষ্কাশন দ্রষ্টব্য।

As_2O_3 সাধারণত সাদা আরসেনিক নামে পরিচিত। এটি একটি বিষাক্ত পদার্থ। তিন রকমের As_2O_3 দেখা যায়—অনিয়তাকার, অক্টাহেড্রাল এবং মোনোক্লিনিক। বাষ্পঘনত্ব পরিমাপের দ্বারা জানা যায় যে এই যৌগের আণবিক সংকেত As_4O_6. আরসেনিয়াস অক্সাইড একটি বিজারক। ফেলিং দ্রবণে আরসেনিয়াস অক্সাইড যোগ করলে Cu_2O-এর লাল অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। জলীয় দ্রবণে $FeCl_3$ বিজারিত হয়ে $FeCl_2$-এ পরিণত হয়। উভয় ক্ষেত্রেই H_3AsO_4 উৎপন্ন হয়। শক্তিশালী জারকদ্রব্য আরসেনিয়াস অক্সাইডকে জারিত করে। As_2O_5 এবং H_3AsO_4 এই সব ক্ষেত্রে উৎপন্ন হয়, $As_2O_3+2H_2O_2=As_2O_5+2H_2O$; $As_2O_5+3H_2O=2H_3AsO_4$ আরসেনিয়াস অক্সাইড অনেকক্ষেত্রে জারকদ্রব্য হিসেবেও কাজ করে। যেমন

$$As_2O_3+3SnCl_2+6HCl=3SnCl_4+3H_2O+2As$$

আরসেনিয়াস অক্সাইড বিষ হিসেবে এবং কিছু কিছু ওষুধে ব্যবহৃত হয়।

11.26b আরসেনিক ট্রাইক্লোরাইড, $AsCl_3$: ক্লোরিনের উপস্থিতিতে সালফার মোনোক্লোরাইড ও আরসেনিয়াস অক্সাইডকে রিফ্লাক্স করে পাতিত করলে $AsCl_3$ পাওয়া যায়।

$$4As_2O_3+3SnCl_2+9Cl_2=8AsCl_3+6SO_2$$

এছাড়া আরসেনিককে সরাসরি ক্লোরিনের মধ্যে পুড়িয়ে $AsCl_3$ তৈরী করা যায়। As এবং $HgCl_2$কে একত্র উত্তপ্ত করলেও $AsCl_3$ পাওয়া যায়।

এটি একটি বর্ণহীন, বিষাক্ত ধূমায়মান তরল পদার্থ। আপেক্ষিক গুরুত্ব 3.2. জলে $AsCl_3$-এর আর্দ্রবিশ্লেষ ঘটে,

$$2AsCl_3+3H_2O=As_2O_3+6HCl$$

11.26c আরসেনিয়াস সালফাইড, As_2S_3 : ল্যাবরেটরীতে যে কোন ত্রিযোজী আরসেনিকের যৌগের আম্লিক দ্রবণের মধ্যে H_2S চালনা করলেই As_2S_3 পাওয়া যায়, যেমন $As_2O_3+3H_2S=As_2S_3+3H_2O$. As এবং S-কে একসাথে উত্তপ্ত করেও As_2S_3 পাওয়া যায়। As_2O_3 এবং S-এর একটি মিশ্রণকে ঊর্ধপাতিত করলে As_2S_3 পাওয়া যায়,

$$2As_2O_3+9S=2\ As_2S_3+3SO_2.$$

আরসেনিয়াস সালফাইড একটি হলুদ রঙের কঠিন পদার্থ, জলে এবং গাঢ় HClএ অদ্রাব্য। ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় আরসেনাইট ও থায়ো-আর্সেনাইট গঠিত হয়।

$$As_2S_3 + 6NaOH = Na_3AsO_3 + Na_3AsS_3 + 3H_2O$$

সোডিয়াম সালফাইডের সাথে বিক্রিয়ার ফলে Na_3AsS_3 গঠিত হয়।

$$As_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3AsS_3$$

নাইট্রিক অ্যাসিড, অম্লরাজ বা পটাশিয়াম ক্লোরেট দ্বারা As_2S_3 সহজেই জারিত হয়। কীটনাশক হিসেবে As_2S_3 ব্যবহৃত হয়।

11.26d আরসেনাইট লবণ : As_2O_3 খুব অল্পপরিমাণে জলে দ্রবণীয়। এই দ্রবণে H_3AsO_3 বা $HAsO_2$ (আরসেনিয়াস অ্যাসিড) থাকে বলে মনে করা হয়। এই অ্যাসিডকে দ্রবণ থেকে পৃথক করা যায় না। এই অ্যাসিডের লবণগুলি আরসেনাইট লবণ নামে পরিচিত। এই লবণগুলি বিষাক্ত হওয়ায় কীটনাশক হিসেবে এবং রং হিসেবে এদের ব্যবহার আছে।

উষ্ণ NaOH দ্রবণে As_2O_3 দ্রাবিত করে শুষ্ক করলে সাদা গুঁড়ো $NaAsO_2$ পাওয়া যায়। জলে এই লবণ দ্রাবিত ও আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়। এই দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগে হলুদ রঙের Ag_3AsO_3 অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। আর $CuSO_4$ দ্রবণযোগে **শীলের সবুজ রং** (Scheele's green) কিউপ্রিক আরসেনাইট $CuHAsO_3$ বা $Cu_3(AsO_3)_2, 2H_2O$ পাওয়া যায়। কিউপ্রিক আরসেনাইট ও কিউপ্রিক অ্যাসেটেটের মিশ্রণে একটি নতুন যৌগ **পারী সবুজ** (Paris green) পাওয়া যায়।

আর্সেনিকের পাঁচযোজী যৌগসমূহ

11.27a আরসেনিক পেন্টক্সাইড, As_2O_5 এবং **আর্সেনিক অ্যাসিড,** H_3AsO_4

প্রস্তুতি : আর্সেনিয়াস অক্সাইডকে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডযোগে উত্তপ্ত করলে আর্সেনিক অ্যাসিডের দ্রবণ পাওয়া যায়। দ্রবণটি ফোটালে অতিরিক্ত নাইট্রিক অ্যাসিড ও নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ দূরীভূত হয়। এই কেলাসকে উত্তপ্ত করলে 210° উষ্ণতায় সাদা গুঁড়ো As_2O_5 অবশেষ হিসেবে পাওয়া যায়।

$$As_2O_3 + 2HNO_3 + 2H_2O = 2H_3AsO_4 + N_2O_3$$
$$2H_3AsO_4, H_2O = As_2O_5 + 4H_2O$$

ধর্ম : As_2O_5 সাদা অনিয়তাকার পদার্থ। এটি উদগ্রাহী। 450° উষ্ণতায় বিযোজিত হয়, $As_2O_5 = As_2O_3 + O_2$. জলে ধীরে ধীরে দ্রাবিত হয় এবং আর্সেনিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ উৎপন্ন করে, $As_2O_5 + 3H_2O = 2H_3AsO_4$

দ্রাবিত হয়ে আর্সেনেট লবণ গঠন করে, $6NaOH + As_2O_5 = 2Na_3AsO_4 + 3H_2O$. আর্সেনিক অ্যাসিড একটি জারক দ্রব্য।

11.27b আর্সেনেট লবণসমূহ : আর্সেনেট লবণসমূহ ও ফসফেট লবণসমূহ সমাকার। আর্সেনেট ও ফসফেটের বিক্রিয়াগুলোও একই ধরণের। অর্থো-আরসেনিক অ্যাসিড H_3AsO_4 ত্রিক্ষারীয় এবং তিন শ্রেণীর লবণ গঠন করে। এই অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণকে একটি খোলা পাত্রে $170-180°$ পর্যন্ত উত্তপ্ত করে ঠাণ্ডা করলে পাইরো-আরসেনিক অ্যাসিডের ($H_4As_2O_7$) কেলাস পাওয়া যায়।

11.27c. আর্সেনিক পেন্টাসালফাইড As_2S_5 : 10-12% হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডযুক্ত আর্সেনিক অ্যাসিডের উষ্ণ জলীয় দ্রবণে H_2S গ্যাস প্রবাহিত করলে হলুদ রঙের As_2S_5-এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। $2H_3AsO_4 + 5H_2S = As_2S_5 + 8H_2O$.

As_2S_5 ক্ষারে দ্রবীভূত হয়ে আর্সেনেট ও থায়োআর্সেনেট লবণ গঠন করে এবং Na_2Sএর সাথে বিক্রিয়ায় কেবলমাত্র থায়োআর্সেনেট গঠন করে।

$$As_2S_5 + 6NaOH = Na_3AsO_4 + Na_3AsS_4 + 2H_2O + H_2S$$
$$As_2S_5 + 3Na_2S = 2Na_3AsS_4$$

এছাড়া **আর্সেনিক ডাইসালফাইড,** As_2S_2 খনিজ আকরিক রিয়ালগার (realgar) হিসেবে পাওয়া যায়। ল্যাবরেটরীতে অতিরিক্ত পরিমাণ আর্সেনিকের সাথে সালফার মিশিয়ে উর্ধপাতিত করে As_2S_5 পাওয়া যেতে পারে।

অ্যান্টিমনি

সংকেত Sb. পরমাণুভার 121.76

অ্যান্টিমনির প্রধান আকরিক স্টিবনাইট, Sb_2S_3. অক্সাইড হিসেবেও প্রকৃতিতে অ্যান্টিমনি পাওয়া যায়। যেমন ভ্যালেন্টিনাইট Sb_2O_3 কিম্বা সেরভানটাইট Sb_2O_4 ইত্যাদি। এছাড়া সুইডেন, বোর্নিও প্রভৃতি কয়েকটি স্থানে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতিতে অ্যান্টিমনি পাওয়া যায়।

11.28. প্রস্তুতিঃ অ্যান্টিমনি-সমৃদ্ধ আকরিককে প্রথমে এমনভাবে উত্তপ্ত করা হয় যাতে সালফাইডগুলি কেবলমাত্র গলিত অবস্থায় পরিণত হয় এবং প্রবাহদ্বারা পাথুরে অশুদ্ধি থেকে তাকে পৃথক করা হয়। এই সালফাইডের সাথে লোহা এবং সামান্য লবণ (NaCl) মিশিয়ে গ্রাফাইট-নির্মিত মুচিতে গলানো হয়। লবণ বিগালক হিসেবে কাজ করে। উৎপন্ন অ্যান্টিমনি গলিত অবস্থায় ধাতুমলের নীচে সঞ্চিত হয়। উৎপন্ন ধাতু 91% বিশুদ্ধ।

$$Sb_2S_3 + 3Fe = 2Sb + 3FeS$$

উৎপন্ন ধাতুকে অল্প স্টিবনাইট এবং K_2CO_3 মিশিয়ে গলিয়ে বিশুদ্ধ করা হয়। এইভাবে 99% বিশুদ্ধ ধাতু পাওয়া যায়।

অপেক্ষাকৃত কম পরিমাণ Sb-যুক্ত আকরিককে প্রথমে একটি পরাবর্ত চুল্লীতে (reverberatory furnace) 350° উষ্ণতায় ভর্জিত করা হয়; ফলে Sb_2O_4' উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন অক্সাইড থেকে C-বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা Sb নিষ্কাশন করা করা হয়। এই সময়ে Na_2CO_3 ও Na_2SO_4 বিগালক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

$SbCl_3$এর জলীয় দ্রবণে Zn যোগ করলে কালো গুঁড়ো Sb পাওয়া যায়।
$2SbCl_3 + 3Zn = 2Sb + 3ZnCl_2$.

বিশুদ্ধ Sb_2O_5-কে KCN সহযোগে গলালে **বিশুদ্ধ Sb** পাওয়া যায়।

ধর্ম : অ্যান্টিমনি একটি উজ্জ্বল রূপোলী ধাতু। আপেক্ষিক গুরুত্ব 6·71. ভঙ্গুর এবং সহজেই গুঁড়ো করা যায়। তাপ ও তড়িতের কুপরিবাহী। 1572° থেকে 1640° উষ্ণতার মধ্যে বাষ্পঘনত্ব পাওয়া যায় Sb_3 এবং Sb_2এর মাঝামাঝি; মনে হয় $Sb_4 \rightleftarrows 2Sb_2$. 2070° উষ্ণতায় যে বাষ্পঘনত্ব পাওয়া যায় তাতে আণবিক সংকেত হয় Sb.

অ্যান্টিমনির উপর সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুর কোন ক্রিয়া নেই। লোহিত তপ্ত ধাতু স্টীমকে বিযোজিত করে। Sb সাধারণত লঘু অ্যাসিডের সঙ্গে কোন বিক্রিয়া করে না, কিন্তু গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড Sb-কে জারিত করে আর্দ্র পেণ্টক্সাইড (অ্যান্টিমনিক অ্যাসিড) তৈরী করে। গাঢ় HCl এর সাথে বিশুদ্ধ ধাতুর কোন বিক্রিয়া হয় না, তবে বাণিজিক Sb উত্তপ্ত গাঢ় HCl-এ দ্রবীভূত হয়। উত্তপ্ত ও গাঢ় H_2SO_4 এর সাথে বিক্রিয়ায় $Sb_2(SO_4)_3$ ও SO_2 উৎপন্ন হয়। অম্লরাজ (aqua regia) Sb-কে $SbCl_5$-এ পরিণত করে। Sb ক্লোরিন গ্যাসের মধ্যে প্রজ্বলিত হয় এবং $SbCl_5$ গঠিত হয়। সাধারণ উষ্ণতায় Br_2 এবং I_2 এর সাথেও Sb বিক্রিয়া করে।

অ্যান্টিমনির ক্ষেত্রে বহুরূপতা লক্ষ্য করা যায়। কেলাসিত কঠিন রূপ Sb-র সুস্থিত রূপ। বাকীগুলি দুস্থিত এবং অনিয়তাকার। এগুলি হল হলুদ বা **α-অ্যান্টিমনি** কালো বা β অ্যান্টিমনি এবং **বিস্ফোরক অ্যান্টিমনি**। তরল অ্যান্টিমনি হাইড্রাইডের উপর ওজোনযুক্ত অক্সিজেনের ক্রিয়ার ফলে α-অ্যান্টিমনি পাওয়া যায়। এই α-অ্যান্টিমনিকে 90°-র উপরে উত্তপ্ত করলে পাওয়া যায় β অ্যান্টিমনি। $SbCl_3$ এর একটি গাঢ় HCl দ্রবণে Pt-কে ক্যাথোড এবং Sb কে অ্যানোডরূপে ব্যবহার করে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে পাওয়া যাবে বিস্ফোরক অ্যান্টিমনি। Pt-এর তলে সঞ্চিত Sb-কে 200° পর্যন্ত উত্তপ্ত করলে বিস্ফোরণ ঘটে।

ব্যবহার : সূক্ষ্ম গুঁড়ো কালো Sb-কে প্রলেপ হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এই প্রলেপের ফলে প্রলেপযুক্ত পদার্থের ইস্পাতের রং হয়। এছাড়া ওষুধে এবং রঞ্জন শিল্পে এর ব্যবহার আছে। ধাতুসংকর হিসেবে অ্যান্টিমনির ব্যবহার সর্বাধিক। বিভিন্ন সংকর ধাতুর মধ্যে টাইপ মেটাল (Pb, Sn, Sb), ব্রিটানিয়া মেটাল (Pb, Sn, Cu, Sb), পিউটার (Sn, Cu, Bi, Sb) প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য।

অ্যান্টিমনির যৌগসমূহ

11.29. অ্যান্টিমনি হাইড্রাইড বা স্টিবাইন, SbH_3 :—কোন Sb-যৌগের জলীয় দ্রবণকে জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত করলে স্টিবাইন পাওয়া যায়। Zn এবং লঘু H_2SO_4এর মধ্যে বিক্রিয়াদ্বারা জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন করা যেতে পারে।

1 : 1 হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে দ্রাবিত $SbCl_3$ ফোঁটা ফোঁটা Zn ও লঘু HCl এর মিশ্রণে যোগ করেও SbH_3 পাওয়া যায়। সবক্ষেত্রেই উৎপন্ন SbH_3-এর সাথে H_2 মিশ্রিত থাকে।

33% Sb-যুক্ত Mgএর সংকর ধাতুর উপর HCl যোগ করে যে গ্যাস পাওয়া যায় তাকে ক্রমান্বয়ে জল, শুষ্ক $CaCl_2$ এবং P_2O_5 এবং সর্বশেষ তরল বায়ুদ্বারা শীতলীকৃত নলের মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত করলে বিশুদ্ধ SbH_3 পাওয়া যায়।

SbH_3 একটি বর্ণহীন বিষাক্ত গ্যাস। জলে মোটামুটি দ্রবণীয়। সাধারণ উষ্ণতায় SbH_3 বিযোজিত হয়। জলীয় বাষ্প বা HClএর উপস্থিতিতে বিযোজন দ্রুত হয়। উত্তাপ প্রয়োগে সম্পূর্ণ বিযোজিত হয়। অনেক সময়ে বিস্ফোরণ ঘটে। বায়ুতে SbH_3 প্রজ্বলিত হয়, $2SbH_3+3O_2=Sb_2O_3+3H_2O$. হ্যালোজেনের সংস্পর্শে অ্যান্টিমনি ট্রাইহ্যালাইড গঠিত হয়। $SbH_3+3Cl_2=SbCl_3+3HCl_3$. SbH_3 ক্ষারকীয় নয়। এটি একটি শক্তিশালী বিজারক।

$$SbH_3+3AgNO_3=Ag_3Sb+3HNO_3$$

অথবা $2SbH_3+12AgNO_3+3H_2O=12Ag+Sb_2O_3+12HNO_3$

11.30a অ্যান্টিমনি ট্রাইক্লোরাইড, $SbCl_3$:—স্টিবনাইটকে উত্তপ্ত গাঢ় HCl-এ দ্রবীভূত করলে $SbCl_3$ পাওয়া যায়, $Sb_2S_3+6HCl=2SbCl_3+3H_2S$.এই দ্রবণটি গাঢ় বাদামী রঙের। একে পাতিত করলে প্রথমে জল ও HCl পাতিত হয়। শেষে পাওয়া যায় $SbCl_3$. একটি ঠাণ্ডা গ্রাহকযন্ত্রে জমা করলে $SbCl_3$-এর সাদা ও নরম কেলাস পাওয়া যায়। এছাড়া Sb ও $HgCl_2$-এর মিশ্রণকে পাতিত করে $SbCl_3$ পাওয়া যায়, $2Sb+3HgCl_2=2SbCl_3+3Hg$. Sbকে সীমিত পরিমাণ ক্লোরিনে প্রজ্বলিত করেও $SbCl_3$ পাওয়া যেতে পারে।

$SbCl_3$ লঘু HCl-এ দ্রবণীয়। জলে একটি ক্ষারীয় ক্লোরাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়। গাঢ় HCl এর সাথে **ক্লোরান্টিমনাস** অ্যাসিড $HSb_2Cl_7, 2H_2O$ গঠিত হয়। NaCl এর সাথে জটিল লবণ $NaSbCl_4$ গঠিত হতে দেখা যায়। $SbCl_3$-এর HCl দ্রবণকে জলে যোগ করলে অ্যান্টিমনাস অক্সিক্লোরাইড পাওয়া যায়।

11.30b অ্যান্টিমনি পেন্টাক্লোরাইড, $SbCl_5$:—Cl_2-এ Sb-র দহনদ্বারা অথবা $SbCl_3$ এবং Cl_2 বা অম্লরাজের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে $SbCl_5$ পাওয়া যায়।

$SbCl_5$ একটি হলুদ রঙের ধূমায়মান তরল পদার্থ। নিজে তড়িৎ পরিবাহী নয়, কিন্তু তরল SO_2-এ $SbCl_5$-এর দ্রবণ তড়িৎপরিবাহী। স্ফুটনাংক 140°.

এই তাপমাত্রায় $SbCl_5$-এর সামান্য বিয়োজন ঘটে, $SbCl_5 \rightleftharpoons SbCl_3 + Cl_2$. কিন্তু 22 মিমি চাপে 79° উষ্ণতায় $SbCl_5$-এর অবিয়োজিত অবস্থায় স্ফুটন হয়। বরফ জলে $SbCl_5$ দুটি কেলাসিত হাইড্রেট গঠন করে, $SbCl_5, H_2O$ এবং $SbCl_5, 4H_2O$. অতিরিক্ত পরিমাণ গরম জলে আর্দ্র Sb_2O_5 গঠিত হয়। গাঢ় HCl এর সাথে মোটামুটি সুস্থিত ক্লোর্যান্টিমনিক অ্যাসিড $2HSbCl_6, 9H_2O$ পাওয়া যায়।

11.30c অ্যান্টিমনি ট্রাইঅক্সাইড বা অ্যান্টিমনাস অক্সাইড, Sb_2O_3 : ধাতব অ্যান্টিমনি বা অ্যান্টিমনি সালফাইডকে বায়ুতে উত্তপ্ত করলে Sb_2O_3 পাওয়া যায়। লোহিত তপ্ত Sb-র উপর স্টীম প্রবাহিত করলে Sb_2O_3 পাওয়া যায়। SbOClকে Na_2CO_3 দ্রবণে সিদ্ধ করলেও Sb_2O_3 পাওয়া যায়, $2SbOCl + H_2O = Sb_2O_3 + 2HCl$.

Sb_2O_3 একটি সাদা রঙের কঠিন পদার্থ। 1560° উষ্ণতায় এই কঠিন সরাসরি বাষ্পীভূত হয়। উত্তপ্ত অবস্থায় এর রঙ হলুদ। বায়ুতে উত্তপ্ত করলে Sb_2O_4 গঠিত হয়, $2Sb_2O_3 + O_2 = 2Sb_2O_4$. Sb_2O_3 লঘু HCl-এ দ্রবণীয়। উষ্ণ ও গাঢ় H_2SO_4-এর সাথে বিক্রিয়ায় $Sb_2(SO_4)_3$ উৎপন্ন হয়। Sb_2O_3 পটাশিয়াম হাইড্রোজেন টারট্রেটে দ্রবণীয়। এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় পটাশিয়াম অ্যান্টিমনি টারট্রেট (টারটার এমেটিক)। টারটারিক অ্যাসিডেও Sb_2O_3 দ্রবণীয়। ক্ষার দ্রবণে Sb_2O_3 মেটা অ্যান্টিমনাইট তৈরী করে।

11.30d অ্যান্টিমনি টেট্রক্সাইড, Sb_2O_4 :—Sb_2O_3-কে বায়ুতে 400° উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে Sb_2O_4 পাওয়া যায়, $2Sb_2O_3 + O_2 = 2Sb_2O_4$.

Sb_2O_4 একটি সাদা রঙের কঠিন পদার্থ। উত্তপ্ত অবস্থায় এর রঙ হয় হলুদ। খুব বেশি উত্তপ্ত করলে এর বিয়োজন ঘটে, $2Sb_2O_4 = 2Sb_2O_3 + O_2$. Sb_2O_4 জলে মোটামুটি অদ্রাব্য, অ্যাসিডে অল্পদ্রাব্য, কিন্তু পটাশিয়াম হাইড্রোজেন টারট্রেটে সম্পূর্ণ দ্রবণীয়।

11.30e অ্যান্টিমনি পেণ্টক্সাইড, Sb_2O_5 :—Sb বা Sb_2O_3-এর সাথে তীব্র HNO_3-র বিক্রিয়ায় Sb_2O_5 এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। এই অধঃক্ষেপকে পৃথক করে সামান্য উত্তপ্ত করতে হয়। এই Sb_2O_5 অশুদ্ধ। এতে কিছু পরিমাণ Sb_2O_3 এবং Sb_2O_4 থাকে।

পটাশিয়াম অ্যান্টিমোনেট এবং লঘু HNO_3-এর মধ্যে বিক্রিয়ায় যে অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় তাকে উত্তপ্ত করে বিশুদ্ধ Sb_2O_5 প্রস্তুত করা যায়।

$SbCl_5$ এর সাথে অতিরিক্ত পরিমাণ উষ্ণ জলের বিক্রিয়ায় Sb_2O_5 পাওয়া যায়।

Sb_2O_5 একটি ফিকেহলুদ কঠিন পদার্থ। জলে প্রায় অদ্রাব্য। আর্দ্র

Sb_2O_5 নীল লিটমাস কাগজকে লাল করে। সুতরাং এটি একটি আম্লিক পদার্থ। তীব্র উত্তাপে Sb_2O_5 বিয়োজিত হয়, $2Sb_2O_5 = 2Sb_2O_4 + O_2$. এর উপর নাইট্রিক অ্যাসিডের কোন ক্রিয়া নেই। গাঢ় HCl ধীরে ধীরে একে দ্রাবিত করে। ক্ষারে দ্রবীভূত হয়ে Sb_2O_5 অ্যান্টিমোনেট লবণ গঠন করে।

11.30f অ্যান্টিমোনিক অ্যাসিডসমূহ :—

(i) **অর্থো অ্যান্টিমোনিক অ্যাসিড,** H_3SbO_4 : পটাশিয়াম অ্যান্টি-মোনেট ও লঘু HNO_3-এর মধ্যে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন অধঃক্ষেপকে গাঢ় H_2SO_4-এর উপরে শোষকাধারে শুষ্ক করে H_3SbO_4 পাওয়া যায়। (ii) **পাইরো অ্যান্টি-মোনিকঅ্যাসিড,** $H_4Sb_2O_7$: $SbCl_3$কে HNO_3 দ্বারা জারিত করে পাওয়া যায় এবং (iii) **মেটা অ্যান্টিমোনিক অ্যাসিড,** $HSbO_3$: পাইরো অ্যান্টিমোনিক অ্যাসিডকে 200° তে উত্তপ্ত করে $HSbO_3$ পাওয়া যায়।

11.30g অ্যান্টিমনি ট্রাইসালফাইড, Sb_2S_3 :—স্টিবনাইট আকরিক হিসেবে প্রকৃতিতে Sb_2S_3 পাওয়া যায়। Sb_2S_3 দুরকমের হয়, কালো এবং কমলা রঙের। Sb_2S_3কে 200°-র উপর উত্তপ্ত করলে কালো Sb_2S_3 পাওয়া যায়। এছাড়া যথাযথ পরিমাণ সালফার ও ধাতব Sb একত্র উত্তপ্ত করেও কালো ট্রাইসালফাইড পাওয়া যায়। লঘু HCl এ দ্রাবিত $SbCl_3$-এর মধ্যে H_2S গ্যাসচালনা করলে কমলারঙের Sb_2S_3 পাওয়া যায়।

Sb_2S_3 সাধারণ উষ্ণতায় একটি কমলারঙের পদার্থ। জল এবং লঘু HClএ প্রায় অদ্রাব্য। উষ্ণ ও গাঢ় HCl-এ দ্রবণীয়। বায়ুতে দহনের ফলে SO_2 পাওয়া যায়, $2Sb_2S_3 + 9O_2 = 2Sb_2O_3 + 6SO_2$. Sb_2S_3 ক্ষারে এবং হলুদ অ্যামোনিয়াম সালফাইডে দ্রবীভূত হয়। এই দ্রবণে থায়োলবণ উৎপন্ন হয়।

$$Sb_2S_3 + 6NaOH = Na_3SbS_3 + Na_3SbO_3 + 3H_2O$$

$$Sb_2S_3 + 3(NH_4)_2S_2 = 2(NH_4)_3SbS_4.$$

11.30h অ্যান্টিমনি পেন্টাসালফাইড, Sb_2S_5 : HCl সমন্বিত $SbCl_5$-এ ঠাণ্ডা অবস্থায় H_2S গ্যাস চালনা করলে হলদে লালরঙের Sb_2S_5 অধঃক্ষিপ্ত হয়।

Sb_2S_5 জলে এবং লঘু HCl-এ অদ্রাব্য। ফুটন্ত গাঢ় HCl-এ দ্রবীভূত হয়। দ্রবণে $SbCl_3$ গঠিত হয় এবং S অধঃক্ষিপ্ত হয়। উত্তাপ প্রয়োগে Sb_2S_5 বিয়োজিত হয়, $Sb_2S_5 = Sb_2S_3 + 2S$. অ্যামোনিয়াম সালফাইড, ক্ষারকীয় সালফাইড বা তীব্র ক্ষারে Sb_2S_5 দ্রবণীয়।

$$Sb_2S_5 + 3(NH_4)_2S = 2(NH_4)_3SbS_4$$

$$4Sb_2S_5 + 24KOH = 5K_3SbS_4 + 3K_3SbO_4 + 12H_2O.$$

বিসমাথ

সংকেত Bi, পরমাণুভার 209.

বিসমাথের প্রধান প্রধান আকরিকগুলি হল বিসমাথ ওকার Bi_2O_3, বিসমুথিনাইট বা বিসমাথ গ্লান্স Bi_2S_3 এবং বিসমুথাইট বা বিসমাথ স্পার $(BiO)_2CO_3$ । এছাড়া বিসমাথ প্রকৃতিতে কিছু পরিমাণে মুক্ত অবস্থায়ও পাওয়া যায়।

11.31 নিষ্কাশন ঃ মুক্ত বিসমাথের সাথে যে অপদ্রব্য মিশ্রিত থাকে তাকে তরলীকরণ দ্বারা পৃথক করা হয়। উত্তাপপ্রয়োগে 277° উষ্ণতায় Bi তরলে পরিণত হয়, কিন্তু অন্যান্য দ্রব্যগুলি কঠিন অবস্থায় থাকে। এই তরল Bi-কে ঢালু তলের উপর দিয়ে প্রবাহিত করে পৃথক করা হয়।

কার্বনেট, সালফাইড বা অক্সাইড আকরিককে প্রথমে ভর্জনদ্বারা Bi_2O_3-তে পরিণত করা হয়। এই Bi_2O_3 এর সাথে কার্বন, সোডিয়মে কার্বনেট, চুনাপাথর এবং কিছু ফ্লুওরস্পার মিশিয়ে একটি ছোট চুল্লীতে উত্তপ্ত করা হয়। Bi ও ধাতুমল চুল্লীতে উৎপন্ন হয়। আকরিকের মধ্যে As বা Sb-র সালফাইড থাকলে কিছু অব্যবহার্য লোহাও যোগ করা হয়।

অনেক সময়ে আকরিককে HClএ গুলে নিয়ে তাতে অব্যবহার্য লোহা যোগ করা হয়। ফলে Bi উৎপন্ন হয়।

উপরের পদ্ধতিগুলি অনুসারে প্রাপ্ত Bi-এর মধ্যে Pb, As, Sb, Co, Ni, Ag, S প্রভৃতি অপদ্রব্য থাকে। বিশুদ্ধ Bi পেতে হলে অশুদ্ধ Bi-কে গাঢ় HNO_3-এ গুলে নিয়ে পুনঃকেলাসন প্রক্রিয়ায় নাইট্রেট তৈরী করে প্রথমে উত্তপ্ত করা হয়। ফলে Bi_2O_3 গঠিত হয়। এই Bi_2O_3-এর সাথে KCN মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হয় এবং Bi_2O_3 বিজারিত হয়ে Bi উৎপন্ন হয়। এই Bi মোটামুটি বিশুদ্ধ। আরও বিশুদ্ধ Bi পেতে হলে তড়িৎবিশোধন করা হয়। তড়িৎবিশ্লেষ্য নেওয়া হয় $BiCl_3$ এর HCl দ্রবণ। অ্যানোড হয় অশুদ্ধ Bi এবং ক্যাথোড হয় বিশুদ্ধ Bi। বাণিজ্যিক বিশুদ্ধ Bi সর্বাধিক 99.9% বিশুদ্ধ।

ধর্ম ঃ—বিসমাথ একটি সাদাটে ধূসরবর্ণের ধাতু। গলনাংক 271°, স্ফুটনাংক 1450°. আপেক্ষিক গুরুত্ব 9.8. Bi সম্পূর্ণত একটি ধাতু। Bi তাপ ও তড়িতের কুপরিবাহী।

Bi-এর উপর সাধারণ উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুর কোন ক্রিয়া নেই। উত্তপ্ত গলিত Bi বায়ুর সাথে ধীরে ধীরে বিক্রিয়া করে জারিত হয়। অক্সিজেনের উপস্থিতিতে জল দ্বারা Bi ধীরে ধীরে আক্রান্ত হয়। লোহিততপ্ত Bi স্টীমকে বিযোজিত করে। S এবং হ্যালোজেনের সাথে Bi সরাসরি যুক্ত হয়। Bi নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়। অম্লরাজে Bi দ্রুত দ্রবীভূত হয়। লঘু HCl বা লঘু H_2SO_4 এর সাথে Bi কোনরূপ বিক্রিয়া করে না। উষ্ণ ও গাঢ় H_2SO_4 বিসমাথকে $Bi_2(SO_4)_3$-তে পরিণত করে,

$$2Bi+6H_2SO_4=Bi_2(SO_4)_3+3Sb+6H_2O.$$

ব্যবহার : বিসমাথের গলনাংক কম হওয়ায় তার সংকর ধাতুগুলির গলনাংক আরও কম হয়। এই কারণেই সহজে গলনযোগ্য সংকরধাতু নির্মাণের জন্য Bi প্রভূত পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। কয়েকটি সংকর ধাতুর নাম নিচে দেওয়া হল।

উডের গলনযোগ্য ধাতু (Wood's fusible metal)—4 Bi+2Pb+1Sn +1Cd. গলনাংক 71°.

রোজের ধাতু—2 Bi+1Pb+1Sn. গলনাংক 93·75°.

লিপোউইৎসের সংকরধাতু—15 Bi+8Pb+4Sn+3Cd. গলনাংক 65°.

বিসমাথের যৌসমূগহ

11.32a বিসমাথ হাইড্রাইড : বিসমাথ হাইড্রাইড একটি দুঃস্থিত যৌগ। Bi ও Mg এর সংকর ধাতুর উপর 4N H_2SO_4 এর বিক্রিয়ার ফলে যে হাইড্রোজেন গ্যাস পাওয়া যায় তাকে উত্তপ্ত নলের মধ্যে দিয়ে চালনা করলে একটি Bi-প্রলেপ পাওয়া যায়। এর থেকে মনে করা হয় যে একটি গ্যাসীয় বিসমাথ হাইড্রাইড তৈরী হয়েছে। এই হাইড্রাইড জলদ্বারা শোষিত হয় এবং জলীয় দ্রবণ আম্লিক প্রকৃতির হয়।

11.32b. বিসমাথ ট্রাইক্লোরাইড, $BiCl_3$ **:** শুষ্ক ক্লোরিনের মধ্যে Bi-এর দহনের ফলে $BiCl_3$ উৎপন্ন হয়। ধাতব Bi-কে $HgCl_2$ সহযোগে পাতিত করলেও $BiCl_3$ পাওয়া যায়। Bi-এর যৌগকে গাঢ় HCl-এ দ্রাবিত করে আংশিক পাতনক্রিয়ার দ্বারা $BiCl_3$ পাওয়া যেতে পারে।

$$2Bi+3Cl_2=2BiCl_3$$

$$2Bi+3HgCl_2=BiCl_3+Hg.$$

বিসমাথ ট্রাইক্লোরাইড একটি সাদারঙের উদগ্রাহী কঠিন পদার্থ। জলে $BiCl_3$ দ্রবণীয়। কিন্তু জলের পরিমাণ বেশি হলে BiOCl অধঃক্ষিপ্ত হয়। BiOCl হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে দ্রবণীয়। এইজন্য বিক্রিয়াটি উভমুখী, $BiCl_3+H_2O \rightleftarrows BiOCl+2HCl$. $BiCl_3$ ক্ষারীয় ধাতুর ক্লোরাইডের সাথে ডবল লবণ গঠন করে। $BiCl_3, 2H_2O$ এবং $BiCl_3, 2HCl$ সংযুক্তিবিশিষ্ট কেলাসের অস্তিত্ব দেখা যায়।

বিসমাথের অক্সাইডসমূহ : তরল অ্যামোনিয়া মাধ্যমে Na_3Biকে অক্সিজেনদ্বারা জারিত করে কালো গুঁড়ো **বিসমাথ মোনোক্সাইড,** BiO পাওয়া যায়।

Bi এর হাইড্রক্সাইড, ক্ষারকীয় কার্বনেট বা নাইট্রেটকে লোহিত তপ্ত করে **বিসমাথ ট্রাইঅক্সাইড,** Bi_2O_3 পাওয়া যায়। এটি একটি ফিকেহলুদ রঙের গুঁড়ো। উত্তাপ প্রয়োগে রং হয় কালো।

Bi-লবণের অ্যাসিড দ্রবণে NaOH বা NH_4OH যোগ করলে **বিসমাথ হাইড্রক্সাইডের** $[Bi(OH)_3]$ একটি অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। শুষ্ক অবস্থায় এটি

একটি সাদা পাউডার। জলে অদ্রাব্য। অ্যাসিডে দ্রবণীয়। 100° উষ্ণতায় BiO(OH) এ পরিণত হয়।

ক্ষার দ্রবণে Bi_2O_3 যোগ করে জারকদ্রব্য দ্বারা জারিত করে Bi-এর উচ্চতর অক্সাইডগুলি পাওয়া যায়। উষ্ণ ও লঘু ক্ষার মাধ্যমে Cl_2 **বিসমাথ টেট্রক্সাইড,** Bi_2O_4 গঠন করে। গাঢ় ক্ষার মাধ্যমে **বিসমাথ পেণ্টক্সাইড,** Bi_2O_5 গঠিত হয়।

11.32c. ক্ষারকীয় বিসমাথ কার্বনেট (basic bismuth carbonate), $(BiO)_2CO_3, \frac{1}{2}H_2O$: বিসমাথ নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণে $(NH_4)_2CO_3$ দ্রবণ যোগ করলে ক্ষারকীয় বিসমাথ কার্বনেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই অধঃক্ষেপকে পরিস্রাবণ দ্বারা পৃথক করে উত্তাপ প্রয়োগে শুষ্ক করা হয়। এটি একটি সাদা কঠিন পদার্থ। জলে অদ্রাব্য। 100° উষ্ণতায় কেলাসজল ত্যাগ করে এবং আরও বেশি উষ্ণতায় Bi_2O_3-এ পরিণত হয়।

11.32d. বিসমাথ নাইট্রেট, $Bi(NO_2)$, $5H_2O$: উষ্ণ 20% HNO_3 এ বিসমাথ ধাতু বা অপর কোন যৌগকে দ্রবীভূত করে কেলাসন প্রক্রিয়ার সাহায্যে বিসমাথ নাইট্রেট প্রস্তুত করা হয়, $2Bi+8HNO_3=2Bi(NO_3)_3+2NO+4H_2O$. বিসমাথ নাইট্রেটের লঘু নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণকে অতিরিক্ত পরিমাণ জলে যোগ করলে **ক্ষারকীয় বিসমাথ নাইট্রেট** বা **বিসমাথ সাবনাইট্রেটের** $BiONO_3$, অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়।

11.32e. বিসমাথ সালফাইড, Bi_2S_3 : প্রকৃতিতে বিসমুথিনাইট বা বিসমাথ গ্লান্স হিসেবে Bi_2S_3 পাওয়া যায়। হিসেবমত Bi এবং S একত্র উত্তপ্ত করেও Bi_2S_3 পাওয়া যায়। Bi-দ্রবণের লঘু HCl দ্রবণে H_2S প্রবাহিত করলে Bi_2S_3 এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়, $2BiCl_3+3H_2S=Bi_2S_3+6HCl$. এটি সীসার মত ধূসরবর্ণের কঠিন। জলে অদ্রাব্য। ফুটন্ত HCl বা উষ্ণ লঘু HNO_3-এ Bi_2S_3 দ্রবণীয়।

11.32f. বিসমাথ সালফেট, $Bi_2(SO_4)_3$: ধাতব Bi বা Bi_2S_3-কে গাঢ় H_2SO_4-এ দ্রাবিত করলে বিসমাথ সালফেট পাওয়া যায়।

$$2Bi+6H_2SO_4=Bi_2(SO_4)_3+6H_2O+3SO_2.$$

এটি একটি সাদারঙের কঠিন পদার্থ। জলে ক্ষারকীয় সালফেট $Bi_2(OH)_4SO_4$ গঠন করে। K_2SO_4 লবণের সাথে K_2SO_4, $Bi_2(SO_4)_3$ সংকেতবিশিষ্ট ডবল লবণ গঠিত হতে দেখা যায়।

11.32g. সোডিয়াম বিসমাথেট (sodium bismuthate), Na_3BiO_4

Bi_2O_3কে Na_2O_2 যোগে বায়ুর উপস্থিতিতে গলিত করে সোডিয়াম বিসমাথেট পাওয়া যায়। এটি একটি তীব্র জারকদ্রব্য। যে কোন ম্যাঙ্গানিজ লবণের অ্যাসিড দ্রবণে সোডিয়াম বিসমাথেট যোগ করলে বেগনী রঙের পারম্যাঙ্গানেট গঠিত হয়।

প্রশ্নাবলী

1. উদাহরণ সহযোগে দেখাও যে পর্যায় সারণীর VB গ্রুপের উপাদানগুলির মধ্যে আশ্চর্যজনকভাবে অধাতব ধর্ম থেকে ধাতব ধর্মে উত্তরণ হয়। (ক. বি. বর্ধমান সিলেবাস 1967)
Show with specific examples that the transition from non-metallic to metallic property is strikingly illustrated in group VB elements of the periodic Table. (C. U.—B. U· Syllabus 1967)

[সংকেত : 11·1 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য। সঙ্গে উপাদানগুলির ধাতব ও অধাতব ধর্মগুলির উল্লেখ করতে হবে।]

2. হাইড্রাইড ও হ্যালাইডগুলি উল্লেখ করে আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি ও বিসমাথের একটি তুলনামূলক আলোচনা লেখ। (ক. বি. 1968)
Write a comparative study on arsenic, antimony and bismuth with reference to their hydride and halides. (C. U. 1968)

[সংকেত : 11·1 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য।]

3. নাইট্রোজেনের হাইড্রাইডসমূহ কিভাবে প্রস্তুত করা হয়? এই হাইড্রাইড সমূহের রাসায়নিক ধর্মের সাথে ফসফরাসের হাইড্রাইডসমূহের রাসায়নিক ধর্মের তুলনা কর। (ক. বি. 1966)
How are hydrides of nitrogen prepared? Compare their chemical properties with those of the corresponding phosphorus compounds. (C. U. 1966)

[সংকেত : 11·3a থেকে 11·3d পর্যন্ত পরিচ্ছেদগুলি এবং 11·12a থেকে 11·12c পরিচ্ছেদগুলি দ্রষ্টব্য।]

4. নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহের একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ লিখ এবং তাদের ধর্মগুলি আলোচনা কর। (ক. বি. 1965)
Write a short account of oxides nitrogen and discuss their properties. (C. U. 1965)

[সংকেত : 11·5a থেকে 11·5e পরিচ্ছেদগুলি দ্রষ্টব্য।]

5. নাইট্রোজেনের অ্যাসিড সমূহের প্রস্তুতি, ধর্ম এবং গঠনের একটি বিবরণ দাও। অ্যামোনিয়া কিভাবে নাইট্রিক অ্যাসিডে জারিত হয়? (ক. বি.—বর্ধমান সিলেবাস—1967)
Give an account of the preparation, properties and constitution of the oxyacids of nitrogen. How is ammonia oxidised to nitric acid? (C. U.—B. U. Syllabus 1967)

[সংকেত : 11·6a থেকে 11·9 পরিচ্ছেদগুলি দ্রষ্টব্য।]

6. টীকা লেখ : জারণ ও বিজারণ। একটি করে উদাহরণ দিয়ে দেখাও যে নাইট্রাস অ্যাসিড জারক ও বিজারক দুই হিসেবেই ক্রিয়া করতে পারে। (ক. বি. 1968)
Write notes on : Oxidation and reduction. Show that nitrous acid may be an oxidant as well as a reductant by stating one example in each case. (C. U, 1968)

[সংকেত : জারণ ও বিজারণের সংজ্ঞা দ্বিতীয় অধ্যায়ে দ্রষ্টব্য। তারপর 11·7 পরিচ্ছেদের শেষাংশ দ্রষ্টব্য।]

7. ভৌত রাসায়নিক নীতিসহ বায়ুর নাইট্রোজেনকে অ্যামোনিয়াতে পরিবর্তিত করার পদ্ধতি বর্ণনা কর। অ্যামোনিয়াকে কিভাবে তরলে পরিণত করা হয়? (ক. বি. 1963)

Describe a method of fixing atmospheric nitrogen in the form of ammonia giving briefly the physico-chemical principles invohed. How is ammonia liquefied? (C. U. 1963)

[সংকেত : হেবার পদ্ধতি দ্রষ্টব্য।]

8. কি করে তৈরী করা যায়?

(ক) নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে নাইট্রোজেন (ক. বি. 1963)

(খ) ফসফরিক অ্যাসিড থেকে ফসফরাস (ক. বি. 1963)

How will you obtain?

(a) Nitrogen from nitric acid (C. U. 1963)

(b) Phosphorus from phosphoric acid (C. U. 1963)

[সংকেত : (ক) নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্পকে উত্তপ্ত কপারের উপর চালনা করে N_2 পাওয়া যায়। উৎপন্ন জলীয় বাষ্পকে শীতল করে পৃথক করা যায়। 11·6a পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য। (খ) ফসফরিক অ্যাসিডের সাথে চুনের বিক্রিয়া ঘটিয়ে ক্যালসিয়াম ফসফেট উৎপন্ন করা যায়। এই ফসফেট থেকে 11·6 পরিচ্ছেদের বর্ণনামত ফসফরাস তৈরী করা যেতে পারে। অথবা 316°-র বেশী উষ্ণতায় H_3PO_4কে উত্তপ্ত করে পাওয়া যায় P_2O_5. এই পেন্টাক্সাইডের বিজারণ দ্বারা P পাওয়া যেতে পারে।]

9. ফসফরাসের অক্সি অ্যাসিড সমূহ কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? তাদের ধর্মগুলি কি কি? তাদের গঠনগত সংকেত লেখ। (বর্ধমান 1963)

How are the oxyacids of phosphorus prepared? What are their properties? Write down their constitutional formulac? (B. U. 1963)

[সংকেত : 11·15 থেকে 11·22 পরিচ্ছেদ পর্যন্ত দ্রষ্টব্য।]

10. নীচের যৌগগুলির প্রস্তুতি ও ধর্ম লেখ :

(ক) হাইড্রক্সিলামিন (বর্ধমান 1963, ক. বি. 1965)

(খ) হাইড্রাজিন সালফেট (বর্ধমান 1963, ক. বি. 1963)

(গ) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড (ক. বি. 1965)

(ঘ) হাইড্রাজয়েক অ্যাসিড (ক. বি. 1963)

Write down the preparation and properties of the following compounds :

(a) Hydroxylamine (B. U. 1963, C. U. 1965)

(b) Hydrasine sulphate (B. U. 1963, C. U. 1963)

(c) Phosphous pentachloride (C. U. 1965)

(d) Hydrazoic acid (C. U. 1963)

[সংকেত : 11·3b, 11·3c, 11·13b, এবং 11·3d পরিচ্ছেদগুলি দ্রষ্টব্য।]

11. ক্যালসিয়াম ফসফেট থেকে সুরু করে প্রয়োজনীয় পদার্থ ব্যবহার করে কি করে নিম্নলিখিত পদার্থগুলি প্রস্তুত করা যায় দেখাও।

(ক) P_4 (খ) P_4O_6 (গ) H_3PO_4 (ঘ) PH_3 (ক. বি. বর্ধমান সিলেবাস 1967)

Starting from calcium phosphate and using any other relevant material show how each of the following can be prepared :

(a) P_4 (b) P_4O_6 (c) H_3PO_4 (d) PH_3 (C. U.—B. U. Syllabus 1967)

[সংকেত : ক্যালসিয়াম ফসফেট থেকে P_4 এবং H_3PO_4 প্রস্তুতি দেখ। উৎপন্ন ফসফরাস থেকে $P_4O_6(P_2O_3)$ এবং PH_3-এর প্রস্তুতি বর্ণনা কর।]

12. ফসফরাসের অক্সাইড এবং অক্সি অ্যাসিড সমূহের একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। বিভিন্ন অক্সি অ্যাসিডের ক্ষারগ্রাহিতা আলোচনা কর। (ক. বি. 1962)
Give a brief account of the oxides and any acids of phosphories. Discuss the basicities of different oxy acids. (C. U. 1962)
[সংকেত : 11·14a থেকে 11·22 পরিচ্ছেদ পর্যন্ত (সংক্ষেপে) দ্রষ্টব্য]

13. কি করে নিম্নলিখিত যৌগগুলির যে কোন তিনটি তৈরী করা যায় : (ক) হাইপোফসফরাস অ্যাসিড, (খ) হাইড্রক্সিলামিন, (গ) স্টিবাইন, (ঘ) পারক্লোরিক অ্যাসিড, (ঙ) আর্সেনিক ট্রাইক্লোরাইড ? যোজ্যতার ইলেকট্রনীয় তত্ত্বের ভিত্তিতে এদের গঠন বর্ণনা কর।
(ক. বি. 1967)
How are any three of the following compounds prepared :
(a) Hypophosphorous acid, (b) Hydroxylamine, (c) Stibine, (d) Perchloric acid, (e) Arsenic trichloride ? State their structures on the basis of electronic theory of valeney.

14. নাইট্রোজেন, ফসফরাস, আর্সেনিক এবং অ্যান্টিমণির হাইড্রাইডগুলি কিভাবে প্রস্তুত করা হয় ? তাদের ধর্মের তুলনা কর। এগুলি কোন অবস্থায় বিজারক হিসেবে কাজ করে সমীকরণ সহযোগে প্রতিটি হাইড্রাইডের বিজারণ ক্রিয়া দেখাও। (বর্ধমান 1964)
How are the hydrides of nitrogen, phosphorus, arsenic and antimony prepared ? Compare their properties. Under what conditions they behave as reducing agents ? Illustrate with equation the reduciug action of each of the hydrides. (B. U. 1964)
[সংকেত : নাইট্রোজেনের হাইড্রাইডসমূহ, ফসফরাসের হাইড্রাইডসমূহ, আরসাইন, স্টিবাইন ও বিসমুথিন (সংক্ষেপে) দ্রষ্টব্য]

15. N, P, As, Sb এবং Bi-এর হাইড্রাইড সমূহের একটি বিবরণ দাও। আরসেনেট এবং আরসেনাইটের পার্থক্য কিভাবে নিরূপণ করা যায় ? (ক. বি. 1964)
Give an account of the dydrides of N, P, As, Sb and Bi. How would you distinguish between an arsenite and an arsenate ? (C, U. 1964)

16. নিচের যে কোন তিনটি বিশুদ্ধ অবস্থায় তুমি কি করে প্রস্তুত করতে পারে ; (ক) সাদা ফসফরাস (খ) আরসাইন. (গ) বিসমাথ নাইট্রেট, (ঘ) ডাইনাইট্রোজেন টেট্রক্সাইড ? এদের তাপ-সুস্থিতা আলোচনা কর। (ক. বি. 1966)
How would you prepare any three of the following in pure state ; (a) white phosphores, (b) arsine, (c) bismuth nitrate, (d) dinitrogen tetroxide ? Discuss their thermal stability. (C. U. 1966)
[সংকেত : 11·6, 11·25, 11·32f এবং 11·5d পরিচ্ছেদগুলি দ্রষ্টব্য।]

দ্বাদশ অধ্যায়

সালফার

12.1b. অবস্থান : **মৌল অবস্থায়** সালফার প্রধানতঃ আগ্নেয়গিরি অঞ্চলে, যেমন সিসিলি, জাপান, আইসল্যাণ্ডে এবং আমেরিকার লুইসিয়ানা ও টেক্সাসে ও পাকিস্তানের বেলুচিস্তানে সালফারের খনি আছে। আগ্নেয়গিরি অঞ্চলে হাইড্রোজেন সালফাইড ও সালফার ডাই-অক্সাইডের বিক্রিয়ার ফলে সালফার উৎপন্ন হয়।

$$2H_2S + SO_2 = 2H_2O + 3S.$$

যৌগ অবস্থায় সালফার মূলতঃ ধাতব সালফাইড ও সালফেট হিসাবে পাওয়া যায়। এদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য সালফাইড হল—গ্যালেনা PbS, জিংক ব্লেণ্ড ZnS, কপার পাইরাইটস্ Cu_2S, Fe_2S_3 ; আয়রন পাইরাইটস্ FeS_2, সিনাবার HgS, উল্লেখ্য সালফেট হল জিপসাম $CaSO_4$, $2H_2O$; অ্যানহাইড্রাইট $CaSO_4$, হেভি স্পার $BaSO_4$ ও কিজেরাইট $MgSO_4$, H_2O.

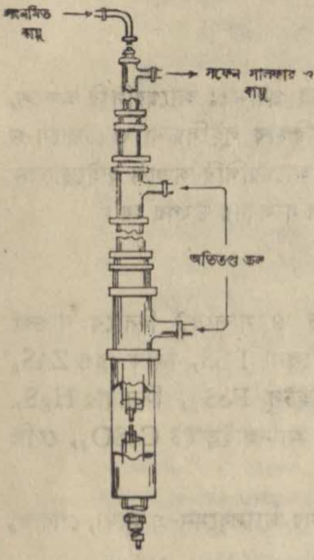
এ'ছাড়াও অনেক জৈব পদার্থে যেমন চুলে, ডিমের অ্যালবুমেন-এ আদা, পেঁয়াজ, রসুন ও সর্ষের তেলে সালফার আছে।

12.2. নিষ্কাশন :

সিসিলীয় পদ্ধতি : সিসিলীর সালফার-সমম্বিত শিলায় 20 শতাংশ সালফার ছাড়াও চুনাপাথর, জিপসাম, বালি ও মাটি মিশ্রিত থাকে। পাহাড়ের গায়ে তৈরী বড় বড় ইটের প্রকোষ্ঠে (কালকর্ণি) অবিশুদ্ধ সালফার স্তূপাকার করে উপর থেকে আগুন ধরিয়ে দেওয়া হয়। এর ফলে প্রায় এক-তৃতীয়'ংশ সালফার পুড়ে যায় ও যে তাপের উদ্ভব হয় তাতে সালফার গলে তরল হয়ে সংশ্লিষ্ট অন্যান্য অপদ্রব্য থেকে পৃথক হয়ে পড়ে ও ঢালু মেঝে দিয়ে গড়িয়ে এসে কাঠের পাত্রে জমা হয়। এভাবে প্রাপ্ত সালফারেও শতকরা 5 ভাগ শিলাজাত অপদ্রব্য থেকে যায়।

উল্লিখিত সালফারকে পাতন-প্রক্রিয়ায় পরিশোধন করার জন্য মার্সাই বন্দরে পাঠানো হয়। সেখানে বড় বড় লোহার পাত্রে সালফারকে গলিয়ে লোহার রিটর্টে স্থানান্তরিত করে পাতন করা হয়। গলিত সালফার 444·6° তাপাংকে বাষ্পীভূত হয়ে রিটর্ট সংলগ্ন একটি বড় ইটের তৈরী প্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে ও প্রকোষ্ঠের ঠাণ্ডা দেওয়ালে হলুদ গুঁড়ো আকারে ঘনীভূত হয়। একে Flower of sulfur বলে। প্রকোষ্ঠের উত্তাপ বাড়ার সাথে সাথে ক্রমশঃ সালফারের গুঁড়া তরল হয়ে প্রকোষ্ঠের মেঝেতে জমা হয় ও একটি নির্গম নলের সাহায্যে একে বের করে নিয়ে কাঠের ছাঁচের মধ্যে জমানো হয়। একে রোল সালফার বলে।

2. ফ্রাশ্ পদ্ধতি ঃ লুইসিয়ানা ও টেক্সাসে ভূপৃষ্ঠের প্রায় 700—800 ফুট তলায় চুনাপাথর, বালি ও মাটির তলায় সঞ্চিত স্তরের সালফার **ফ্রাশ পদ্ধতিতে** নিষ্কাশন করা হয়। এই পদ্ধতিতে ভূপৃষ্ঠ থেকে সালফারের স্তর পর্যন্ত দীর্ঘ গর্ত করে চারটি সমকেন্দ্রিক ইস্পাতের নল বসানো হয়। সবচেয়ে বাইরের দুটি নল দিয়ে 160° তাপাংকে অতিতপ্ত জল (Superheated water) 10 থেকে 18 অ্যাটমস্‌ফিয়ার চাপে প্রেরণ করা হয়। কেন্দ্রস্থ নল দিয়ে পাঠানো হয় 35 অ্যাটমস্‌ফিয়ার চাপে সংনমিত বাতাস। অতি-তপ্ত জল সালফারকে গলিত করে ফেলে এবং কেন্দ্রস্থনলের বাতাসের প্রচণ্ড চাপের দরুণ গলিত সালফার অবশিষ্ট নলটি দিয়ে ফেনায়িত অবস্থায় ভূপৃষ্ঠে উঠে আসে। এই গলিত সালফারকে কাঠের বড় পাত্রে শীতল করা হয়। এইভাবে প্রাপ্ত সালফার প্রায় শতকরা 99.5 থেকে 99.8 ভাগ বিশুদ্ধ।



চিত্র নং ২৩

12 3 সালফারের বহুরূপতা ঃ সালফারের বিভিন্ন রূপভেদ আছে। বিভিন্ন রূপগুলি নীচে দেওয়া হল।

1. নিয়তাকার বা কেলাসিত সালফার (Crystalline Sulfur)

(i) রম্বিক বা α-সালফার বা SI (ii) মনোক্লিনিক প্রিজমেটিক (Monoclinic prismatic) বা β-সালফার বা SII (iii) মনোক্লিনিক নেক্রিয়াস বা SIII (iv) মনোক্লিনিক ট্যাবুলার বা SIV (v) রম্বোহেড্রাল Sϕ বা Sρ (vi) Sζ (Rhombic plates) (vii) Sη(Hexagonal plates)।

2. অনিয়তকার সালফার (Amorphous sulfur)

(i) প্লাষ্টিক সালফার (ii) সাদা γ-সালফার বা মিল্ক অব সালফার।

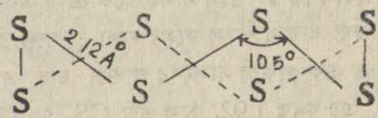
3. কলয়ডীয় সালফার বা δ-সালফার।

4. তরল সালফার।

(i) λ-সালফার (ii) μ-সালফার (iii) π-সালফার

নিয়তাকার সালফার

রম্বিক সালফার ঃ সালফারের সমস্ত রূপভেদের মধ্যে সবচেয়ে স্থায়ী ও সুবিদিত। সব রূপভেদকেই দীর্ঘ সময় রেখে দিলে রম্বিক সালফারে পরিণত হয়। কার্বন ডাই সালফাইডে সালফারের দ্রবণকে ধীরে ধীরে বাষ্পায়িত করলে অষ্টতলক (Octahedral) রম্বিক সালফারের কেলাস পাওয়া যায়। গলনাংক 112·8°, ঘনত্ব 2·06। কেলাসের এক্স-রে বিশ্লেষণ থেকে জানা গেছে যে কেলাসের একক অংশে (Unit cell) ষোলটি করে সালফারের অনু থাকে এবং প্রত্যেক অনুতে ৮টি পরমাণু আছে। পরমাণুগুলি আঁকাবাঁকা শৃংখলে বিন্যস্ত।



মনোক্লিনিক সালফার SII ঃ

রোল সালফারকে একটি বেসিনে উত্তপ্ত করে গলিয়ে ধীরে ধীরে শীতল করলে তরল সালফারের উপর সরের মত এক আস্তরণ পড়ে। এই আস্তরণের দু' জায়গায় কাচদণ্ড দিয়ে বিদ্ধ করে আস্তরণ ও তলাকার তরল সালফার অপসারিত করে নিলে সূক্ষ্ম সূচের মত স্বচ্ছ সালফারের হলুদ কেলাস পাওয়া যায়। কার্বন ডাই সালফাইডে দ্রবণীয় এই সালফারের ঘনত্ব 1.96, গলনাংক 118.75, পরিবর্তাংক (transition temp). 95.5°। এই উষ্ণতার উর্ধে SII স্থায়ী ও এর নিচে রম্বিক সালফার স্থায়ী। 95.5° তাপাংকে SI ও SII একই সঙ্গে সাম্যাবস্থায় থাকে।

SIII বা নেক্রিয়াস সালফার

মুক্তার মত আকারের এই সালফার পাওয়া যায় ঃ

(i) রম্বিক সালফারের কার্বন ডাই সালফাইডের দ্রবণকে ধীরে ধীরে শীতল করে।

(ii) কার্বন ডাই সালফাইডে রম্বিক সালফারের দ্রবণে ইথার দিয়ে অধঃক্ষেপণ ঘটিয়ে।

(iii) একটি টিউবে 160° তাপাংকে সালফারকে গলিয়ে 98° তাপাংকে হঠাৎ দ্রুত শীতল করে এবং টিউবের ভিতরের দেওয়ালে প্ল্যাটিনাম তার দিয়ে ঘসে।

(iv) অ্যামোনিয়াম পলিসালফাইডের অ্যালকোহলীয় দ্রবণে দ্রবীভূত সালফারকে বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা জারিত করে।

এর গলনাংক 106·8°।

SIV বা ট্যাবুলার সালফার ঃ

নেক্রিয়াস সালফার তৈরী করার সর্বশেষ পদ্ধতিতে আরও নিম্নতাপাংকে (5°-14° তাপাংকে) SIV তৈরী হয়। এটা অত্যন্ত অস্থায়ী।

α বা β-সালফার ছাড়া অন্যান্য রূপগুলি কম গুরুত্বপূর্ণ। তরল সালফারকে ঠাণ্ডা করলে ক্রমপরিবর্তন এইভাবে হয়—

$$S\theta \longrightarrow S\delta \longrightarrow S\eta \longrightarrow S\zeta \longrightarrow S\gamma \longrightarrow S\beta \rightleftarrows S\alpha$$

এদের মধ্যে একমাত্র শেষেরটি ছাড়া অন্যগুলি সব মোনোট্রপীয় (Monotropic) পরিবর্তন এবং শেষেরটি ইনানশিয়োট্রপীয় (Enantiotropic) পরিবর্তন।

অনিয়তাকার সালফার ঃ

1. প্লাস্টিক সালফার ঃ তরল সালফারকে প্রায় এর স্ফুটনাংকের কাছাকাছি উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে সূক্ষ্ম ধারায় শীতল জলের মধ্যে ফেললে রবারের মত নমনীয় স্বচ্ছ হলদে সুতোর আকারের এক প্রকার সালফার পাওয়া যায় একে প্লাস্টিক সালফার বা γ-সালফার বলে। এর ঘনত্ব 1.92, জলে এবং CS_2এ অদ্রবণীয়।

2. মিল্‌ক অব সালফার ঃ রোল সালফারের পাউডারকে মিল্‌ক অব লাইমের সাথে ফোটালে তা ক্যালসিয়াম পেণ্টাসালফাইড ও থায়োসালফেট গঠন করে। কমলা-হলুদ তরলকে ফিলটার করে পৃথক করে লঘু HCl দিয়ে অম্লীকৃত করলে মিল্‌ক অব সালফার পাওয়া যায়।

$$12S + 3Ca(OH)_2 = 2CaS_5 + CaS_2O_3 + 3H_2O$$
$$2CaS_5 + CaS_2O_3 + 6HCl = 3CaCl_2 + 12S + 3H_2O$$

CS_2-এ দ্রবণীয় এই সালফারকে রেখে দিলে রম্বিক সালফারে রূপান্তরিত হয়ে যায়।

3. কলয়ডীয় সালফার ঃ সোডিয়াম থায়োসালফেটের জলীয় দ্রবণকে অম্লীকৃত করলে বা সালফার ডাই অক্সাইডের জলীয় দ্রবণে H_2S চালিত করলে কলয়ডীয় সালফার বা δ-সালফার পাওয়া যায়

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O + SO_2 + S$$
$$2H_2S + SO_2 = 2H_2O + 3S$$

4. তরল সালফার : গলিত সালফারকে ধীরে ধীরে ক্রমশঃ উত্তপ্ত করলে কতকগুলি উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন দেখা যায়। 112.8° তাপাংকে গলিত সালফার এক হলুদ সচল (mobile) তরল হিসাবে থাকে ও তাপমাত্রা বাড়ার সাথে সাথে রং ক্রমশ গাঢ় হতে থাকে। 180° তাপাংকে তরলটি সহসা সচলতা হারিয়ে ফেলে অত্যন্ত সান্দ্র (Viscous) হয়ে ওঠে। 230° তাপাংকে তরলটি কালো হয়ে যায় এবং আরও তাপমাত্রা বাড়ালে তরলটি সচলতা আবার ফিরে পেতে থাকে। 444.6° তাপাংকে অর্থাৎ স্ফুটনাংকে কালো তরল হিসাবে একে দেখা যায়। আবার ক্রমশঃ ঠাণ্ডা করলে উপরের পরিবর্তন বিপরীতভাবে হতে থাকে।

সান্দ্রতার এই পরিবর্তনের কারণ হিসেবে বলা হয়েছে যে তরল সালফার $S\lambda$ ও $S\mu$ এই দুই প্রকারে থাকে। 120° তাপাংকে $S\mu$ (CS_2-তে অদ্রবণীয়) শতকরা 3·6

ভাগ থাকে ও তাপমাত্রা বাড়ার সাথে সাথে এর পরিমাণ বাড়ে ও Sλ-(CS_2-তে দ্রবণীয়) এর পরিমাণ কমে।

সান্দ্র তরল সালফারকে 180° তাপাংক থেকে হঠাৎ দ্রুত শীতল করলে S_π-পাওয়া যায়।

32.4a ধর্ম : 1. সালফার একটি হলদে ভঙ্গুর কঠিন পদার্থ, বিদ্যুত ও তাপের অপরিবাহী ; কার্বন ডাই সালফাইড, টারপেনটাইন ও উষ্ণ বেঞ্জিনে দ্রবণীয়। (প্লাস্টিক সালফার CS_2-এ অদ্রবণীয়)

2. বাতাস বা অক্সিজেনে পোড়ালে নীল শিখায় জ্বলে ও সালফার ডাই অক্সাইড এবং সামান্য সালফার ট্রাইঅক্সাইড গঠন করে।

3. তাপের প্রভাবে সালফার হাইড্রোজেন, আয়োডিন ছাড়া সকল হ্যালোজেন, কার্বন ও ফসফরাসের সাথে বিক্রিয়া করে। ধাতুর সাথে এর বিক্রিয়ায় ধাতব সালফাইড গঠিত হয়।

4. উষ্ণ গাঢ় সালফিউরিক ও নাইট্রিক অ্যাসিড সালফারকে জারিত করে সালফার ডাইঅক্সাইড ও সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$S+2H_2SO_4=3SO_2+2H_2O$$
$$S+6HNO_3=H_2SO_4+6NO_2+2H_2O$$

5. উষ্ণ ক্ষারীয় দ্রবণে সালফারকে ফোটালে সালফাইড ও থায়োসালফেট তৈরী হয়। অতিরিক্ত সালফার থাকলে পলিসালফাইড গঠিত হয়।

$$4S+6KOH=2K_2S+K_2S_2O_3+3H_2O$$
$$6S+3K_2CO_3=2K_2S_2+K_2S_2O_3+3CO_2$$

12.4b. ব্যবহার : (i) সালফার পুড়িয়ে যে SO_2 পাওয়া যায় তা থেকে সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী হয় (ii) ক্যালসিয়াম বাইসালফেট হিসাবে কাগজ কলে, (iii) SO_2 দ্বারা চিনি বিশোধনের জন্য চিনিকলে এর বহুল ব্যবহার আছে। এ ছাড়া (iv) কার্বন ডাই সালফাইড, সালফার ক্লোরাইড, সোডিয়াম থায়োসালফেট, আলট্রামেরিন ব্লু তৈরীর কাজে (v) বারুদ তৈরীতে, (vi) দিয়াশলাই শিল্পে (vii) রবার ভালকানাইজ (Vulcanise) করার কাজে (viii) রং-তৈরীর কাজে (ix) ঔষধশিল্পে ও (x) জীবাণুনাশক হিসাবে কৃষিক্ষেত্রে বিশেষতঃ আঙ্গুর ক্ষেতে ব্যাপকভাবে সালফার ব্যবহার করা হয়।

সালফার-হাইড্রোজেন যৌগ

সালফার-হাইড্রোজেনের যৌগের মধ্যে হাইড্রোজেন সালফাইড, H_2S ও হাইড্রোজেন পারসালফাইড, H_2S_2 বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এছাড়াও এদের আরও কয়েকটি কম গুরুত্বপূর্ণ পলিসালফাইড আছে।

হাইড্রোজেন সালফাইড বা সালফিউরেটেড হাইড্রোজেন

12.5a প্রস্তুতি ঃ রসায়নাগারে একটি উলফ্ বোতলে ফেরাস সালফাইড নিয়ে তার সাথে ঠাণ্ডা লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের (1:6) বিক্রিয়া ঘটিয়ে হাইড্রোজেন সালফাইড তৈরী করা হয় ও বাতাসের উর্ধ অপসারণের দ্বারা গ্যাস সংগ্রহ করা হয়।

$$FeS+H_2SO_4=FeSO_4+H_2S$$

এই বিক্রিয়ায় ফেরাস সালফেট উপজাত হিসাবে পাওয়া যায়। গ্যাসের থেকে জলীয় অংশ দূর করতে হলে একে ফসফোরাস পেণ্টক্সাইড বা গলিত (fused) ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করতে হয়। এ ক্ষেত্রে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহার করা সম্ভব নয়, কারণ সালফিউরিক অ্যাসিডের সাথে এর বিক্রিয়া হয়।

$$H_2SO_4+H_2S=2H_2O+SO_2+S$$

লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের পরিবর্তে লঘু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডও ব্যবহার করা চলে কিন্তু কখনই নাইট্রিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয় না। এর কারণ নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে হাইড্রোজেন সালফাইডের বিক্রিয়ার ফলে মৌল সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$2HNO_3+H_2S=2H_2O+2NO_2+S$$

42.56 বিশুদ্ধিকরণ ঃ

হাইড্রোজেন সালফাইড তৈরী গ্যাসের সাথে বিক্রিয়ক অ্যাসিডের বাষ্প ছাড়াও জলীয় বাষ্প ও হাইড্রোজেন থাকে। [ফেরাস সালফাইড তৈরী হয় আয়রণ ও সালফারকে উচ্চতাপে গলিত করে তৈরী করা হয় ; এতে কিছুটা আয়রণ মৌল অবস্থায় থেকে যায়। অ্যাসিডের সাথে এই আয়রণের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন তৈরী হয়।] এই গ্যাসকে বিশুদ্ধ করতে বলে প্রথমে (1) সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইডের সম্পৃক্ত দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করলে অ্যাসিড বাষ্প অপসারিত হয়। (2) তারপর একে ক্যালিসয়াম ক্লোরাইড বা ফসফোরাস পেণ্টঅক্সাইডের মধ্য দিয়ে চালিত করে জলীয় বাষ্প দূর করে (3) কঠিন কার্বনডাই অক্সাইডে ঠাণ্ডা করলে হাইড্রোজেন সালফাইড তরল হয়ে পড়ে ও গ্যাসীয় হাইড্রোজেন বেরিয়ে যায়।

অন্য এক পদ্ধতিতে অশোধিত গ্যাসকে জলে ম্যাগনেশিয়াম সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম ভাসমান কণার মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করলে, H_2S শোষিত হয়ে ম্যাগনেসিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইড গঠন করে এবং একে 60° তাপাংক উত্তপ্ত করলে H_2S ফিরে পাওয়া যায়

$$MgO+2H_2S \rightleftarrows Mg(HS)_2+H_2O$$

সবচেয়ে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন সালফাইড পাওয়া যায় সূক্ষ্ম নিকেল কণার উপর 450° তাপাংকে হাইড্রোজেন ও সালফারের বাষ্পের বিক্রিয়া ঘটিয়ে।

$$H_2+S_2 \rightleftarrows H_2S_2$$

রসায়নাগারে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস বিকারক হিসাবে সর্বদাই প্রচুর পরিমাণে ব্যবহার করা হয়। তাই প্রয়োজনমত সদ্যপ্রস্তুত হাইড্রোজেন সালফাইডের চাহিদাপূরণের জন্য কিপ-যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। তিনটি গোলক নিয়ে গঠিত এই যন্ত্রের দুটো অংশ থাকে। উপরের অংশটি একটি গোলক দিয়ে গঠিত এবং এর সাথে

সংযুক্ত এক দীর্ঘনল মধ্য গোলকের মধ্যে বায়ুরুদ্ধ অবস্থায় দৃঢ়ভাবে বসানো থাকে। নীচের অংশটি একটি পূর্ণ ও একটি অর্ধগোলক দিয়ে গঠিত। মধ্য গোলকের গায়ে একটি নির্গম নল লাগানো থাকে ও সর্বনিম্ন গোলকটিতে প্রয়োজনমত অ্যাসিড বের করার জন্য একটি নির্গম পথ থাকে। উপরের গোলকের সাথে সংযুক্ত নলটি সর্বনিম্ন গোলকের প্রায় তলা পর্যন্ত থাকে। মাঝের গোলকটিতে ফেরাস সালফাইড দিয়ে সবচেয়ে উপরের গোলকের মধ্য দিয়ে লঘু অ্যাসিড যোগ করা হয়। বিক্রিয়কগুলি পরস্পরের সংস্পর্শে এলেই স্বাভাবিক তাপমাত্রাতে বিক্রিয়া ঘটে। উৎপন্ন গ্যাস নির্গমনল দিয়ে বেরিয়ে আসে। নির্গমনলটি স্টপককের সাহায্যে বন্ধ করে নিলে গোলকের মধ্যে সঞ্চিত গ্যাসের চাপে অ্যাসিড ক্রমশঃ নীচে নামে ও পরে নলের সাহায্যে প্রথম গোলকে এসে সঞ্চিত হয়।



চিত্র নং ২৪

এই ভাবে অ্যাসিড ফেরাস সালফাইড থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে পড়ায় বিক্রিয়া থেমে যায়। আবার নির্গম নলটি খুলে দিলে গ্যাসের চাপ হ্রাস পায় ও অ্যাসিড উপরের গোলক থেকে নিচে নেমে আসে এবং বিক্রিয়া চলতে থাকে।

12.6 ধর্ম :

1. হাইড্রোজেন সালফাইড বাতাসের চেয়ে ভারী, পচা ডিমের মত গন্ধযুক্ত গ্যাস ; শতকরা 0.1 ভাগের বেশী মাত্রায় গাঢ়ত্বে তীব্র বিষাক্ত।

2. দহনের সহায়ক না হলেও অতিরিক্ত অক্সিজেনে নীল শিখায় জ্বলে ও জল ও সালফার ডাই অক্সাইড উৎপন্ন করে এবং পর্যাপ্ত অক্সিজেন না থাকলে সালফার উৎপন্ন করে—এর থেকে গ্যাসে সালফারের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

$$2H_2S+3O_2=2H_2S+2SO_2$$

$$2H_2S+O_2=2H_2S+2S$$

3. ঠাণ্ডা জলে দ্রবণীয়। জলীয় দ্রবণে ক্ষীণ দ্বি-ক্ষারীয় অ্যাসিড ($pK_1=7.04$ $pK_2=14.92$)। কাজেই জলে দ্রবণীয় এর প্রশম ও অ্যাসিড উভয় প্রকারের লবণই তীব্রভাবে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়।

4. হাইড্রোজেন সালফাইড যে বিজারক তা নিচের রেডক্স-বিক্রিয়া থেকে স্পষ্ট।

আম্লিক মাধ্যমে : $H_2S \rightleftarrows S+2H^++2e$ $E^\circ_{298}=-0.141$ ভোল্ট

ক্ষারীয় মাধ্যমে : $S^{2-} \rightleftarrows S+2e$ $E^\circ_{298}=0.508$ ভোল্ট

যদিও এ থেকে প্রতীত হয় যে H_2S-এর জারণে সাধারণতঃ মৌল সালফার

তৈরী হবে তবুও তীব্রতর জারকের প্রভাবে সালফার (IV) বা সালফার (VI)-এর যৌগও তৈরী হয়। বিক্রিয়ার কিছু উদাহরণ নীচে দেওয়া হল—

$$K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 + 3H_2S = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 7H_2O + S$$
$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 5H_2S = K_2SO_2 + 2MnSO_4 + 8H_2O + S$$

12.7 বৈশ্লেষিক বিকারক হিসেবে ব্যবহার :

বৈশ্লেষিক বিকারক হিসাবে হাইড্রোজেন সালফাইড ব্যবহৃত হবার মূল কারণ হল :

1. এর দ্বারা বিভিন্ন ধাতুকে সনাক্ত করা যায়—কারণ এক একটি ধাতব সালফাইডের রঙ এক এক রকম। যেমন লেড সালফাইড কালো কিন্তু অ্যান্টিমনি সালফাইড কমলা, আসেনিক সালফাইড হলুদ, জিংক সালফাইড সাদা।

2. এর দ্বারা বিভিন্ন ধাতুকে শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়—এই শ্রেণীবিভাগ সম্ভব কারণ বিভিন্ন ধাতব সালফাইডের অ্যাসিড বা ক্ষারীয় দ্রবণে দ্রবণীয়তা বিভিন্ন। অ্যাসিড মাধ্যমে মার্কারি, লেড, কপার, বিসমাথ, ক্যাডমিয়াম, আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি ও টিনের সালফাইড অধঃক্ষিপ্ত হয় (অর্থাৎ এরা অ্যাসিড মাধ্যমে অদ্রবণীয়)। আবার কোবাল্ট, নিকেল, জিংক, ম্যাঙ্গানিজের সালফাইড ক্ষারীয় মাধ্যমে অধঃক্ষিপ্ত হয়। প্রথমোক্ত ধাতুগুলি আঙ্গিক বিশ্লেষণে দ্বিতীয় শ্রেণীভুক্ত ও শেষোক্তগুলিকে তৃতীয় (খ) শ্রেণীভুক্ত করা হয়।

3. দ্রবণীয়তার উল্লিখিত পার্থক্যের জন্য হাইড্রোজেন সালফাইডের মাধ্যমে বিভিন্ন শ্রেণীর [অর্থাৎ দ্বিতীয় ও তৃতীয় (খ) শ্রেণীর] যে কোন ধাতব লবণকে মিশ্রদ্রবণ থেকে পৃথক করা যায়। যেমন কপার ও জিংকের মিশ্রদ্রবণকে অম্লীকৃত করে H_2S চালনা করলে শুধু কপার সালফাইড অধঃক্ষিপ্ত হবে। তারপর দ্রবণকে অ্যামোনিয়ার সাহায্যে ক্ষারীয় করে আবার H_2S চালনা করলে জিংক সালফাইডের অধঃক্ষেপ পাওয়া যাবে।

12.8 শোষক : লেড নাইট্রেট বা কস্টিক সোডা বা কস্টিক পটাশের দ্রবণ গ্যাসীয় হাইড্রোজেন সালফাইডকে শোষণ করতে পারে।

12.9 হাইড্রোজেন পারসালফাইড ও পলিসালফাইড :

দেখা গেছে, ক্ষারীয় ধাতব সালফাইডের (যেমন সোডিয়াম, পটাশিয়াম সালফাইড) জলীয় দ্রবণে সালফার দ্রবীভূত হয়ে পলিসালফাইড আয়ন Sx^{2-} গঠন করে। গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে $-15°$ তাপাংকে এই দ্রবণ যোগ করলে জলে অদ্রবণীয় হলদে তেলের মত এক তরল পদার্থ পাওয়া যায়। একে ন্যূন-চাপে আংশিক পাতন করলে প্রধানত: H_2S_2 ও H_2S_3 এবং অল্প পরিমাণে উচ্চতর পলিসালফাইড H_2Sx (x এর মান 6 পর্যন্ত হতে পারে) পাওয়া যায়। যে সালফার

যৌগে সালফার জারণ স্তর IV-এ বর্তমান তার তড়িৎবিজারণ ঘটিয়ে H_2S_5 এবং H_2S_7 বা H_2S_8 এর এক মিশ্রণ পাওয়াও সম্ভব বলে জানা গেছে। অ্যামোনিয়াম পেণ্টাসালফাইডকে অনার্দ্র ফরমিক অ্যাসিড দিয়ে বিজারিত করে H_2S_5 পাওয়া গেছে।

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের সাথে সাদৃশ্য হেতু H_2S_2-কে হাইড্রোজেন পার-সালফাইড বলে আখ্যাত করা হয়েছে। অন্যদের হাইড্রোজেন পলিসালফাইড বলা হয়। এদের সবগুলিই তেলের মত তরল এবং বেঞ্জিন, ইথার ও ক্লোরোফর্মে দ্রবণীয়। H_2S_2-তে S – S যোজকদূরত্ব 2.05A° এবং এর গঠন

$$H:\ddot{\underset{..}{S}}\,\ddot{\underset{..}{S}}:H$$

ও উর্ধ্বতন পলিসালফাইডের সম্ভাব্য গঠন

$$H\,\ddot{\underset{..}{S}}\,(\ddot{\underset{..}{S}})_{x-2}:\ddot{\underset{..}{S}}:H$$

H_2S_2 হাইড্রোজেন পারক্সাইডের চেয়ে কম আয়নীয় পদার্থের পক্ষে দ্রাবক হিসাবে অনুপযুক্ত। কিন্তু কিছুসংখ্যক সমযোজী যৌগের ক্ষেত্রে এবং বিশেষতঃ সালফারের পক্ষে খুব ভালো দ্রাবক। পলিসালফাইডগুলি উচ্চ তাপমাত্রা ও চাপে ও ক্ষারের সান্নিধ্যে H_2S ও S-এ বিশ্লিষ্ট হয়। কোনো কোনো ক্ষেত্রে ডিসপ্রোপোরশনেশন (Disproportionation) ঘটে

$$2H_2S_3 = H_2S_2 + H_2S_4$$

সালফার-হ্যালোজেন যৌগ

সালফার হ্যালাইড, অক্সি হ্যালাইড ও হ্যালোজেন সমন্বিত অক্সিঅ্যাসিড—এই তিন রকমের যৌগকে সালফার হ্যালোজেন যৌগ বলে। এদের পরিচয় একে একে দেওয়া হল।

12.0 সালফার হ্যালাইড

একমাত্র আয়োডিন ছাড়া সালফার অন্য সকল হ্যালোজেনের সঙ্গে যৌগ গঠন করে। এই ধরণের যৌগগুলির মুখ্য রাসায়নিক বৈশিষ্ট্য হল এরা সকলেই (একমাত্র SF_6 ও S_2F_{10} ছাড়া) জলের সংস্পর্শে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে হাইড্রোজেন হ্যালাইড এবং সালফারের অক্সিঅ্যাসিড বা মুক্ত মৌল গঠন করে।

(i) সালফার হেক্সাফ্লোরাইড: সকল সালফার হ্যালাইডের মধ্যে নিঃসংশয়ে সবচেয়ে স্থায়ী। যে মৌল দুটি নিয়ে SF_6 গঠিত তাদের সরাসরি বিক্রিয়ায় SF_6 তৈরী হয়। এই যৌগ জলে অদ্রবণীয় এবং আর্দ্রবিশ্লেষিত হয় না। দেখা গেছে যে হ্যালোজেন, অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, অ্যামোনিয়া, সিলিকন, কার্বন, বোরন, ম্যাগনেশিয়াম, গলিত KOH বা উত্তপ্ত কপার (II) অক্সাইডের সাথে

লাল-তপ্ত অবস্থায় ও SF_6-এর কোনো বিক্রিয়া হয় না। হাইড্রোজেন সালফাইডের সাথে বিক্রিয়ায় সালফার ও হাইড্রোজেন ক্লোরাইড এবং ফুটন্ত সোডিয়ামের সাথে বিক্রিয়ায় সোডিয়াম সালফাইড ও ফ্লোরাইড উৎপন্ন হয়। হাই-ভোলটেজ ইনসুলেশন (High voltage insulation) ধর্মের জন্য SF_6 এক অতি প্রয়োজনীয় দ্রব্য বলে বিবেচিত হয়।

এই যৌগে কেন্দ্রীয় সালফার পরমাণুর চারদিকে অষ্টতলকীয় ভাবে ফ্লোরিন পরমাণু বিন্যস্ত থাকে এবং সালফার ফ্লোরিনের বন্ধন সমযোজী প্রকৃতির।

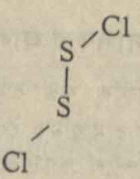
(ii) সালফার মনোক্লোরাইড: সালফারের ক্লোরাইডের মধ্যে S_2Cl_2 ও SCl_2 প্রধান। রবারের শিল্প-উৎপাদনের জন্য S_2Cl_2 ও SCl ব্যবহার করা হয়।

সালফার মনোক্লোরাইড তৈরী করা হয় বালিগাহে উত্তপ্ত একটি রিটর্টে গলিত সালফারের উপর শুষ্ক ক্লোরিন গ্যাস চালিত করে। বাষ্পীয় সালফার মনোক্লোরাইডকে লিবিগ্ শীতকের (Liebig condenser) সাহায্যে ঘনীভূত করে এবং ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের রক্ষীনল (Guard tube) যুক্ত এক শীতল গ্রাহকে তরলাকারে সংগ্রহ করা হয়।

$$2S + Cl_2 = S_2Cl_2$$

শিল্পে কার্বন ডাই সালফাইড ও ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় কার্বন টেট্রাক্লোরাইড তৈরী করার সময় উপজাত হিসেবে S_2Cl_2 তৈরী হয়। এই বিক্রিয়ায় হ্যালোজেন বাহক হিসেবে আয়রন বা আয়োডিন ব্যবহার করা হয় এবং আংশিক পাতন করে উৎপাদিত দ্রব্যকে পৃথক করা হয়। (কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ও সালফার মনোক্লোরাইডের স্ফুটনাংক যথাক্রমে 75° ও 138°)

সালফার মনোক্লোরাইড সালফার, আয়োডিন, কিছু কিছু ধাতব হ্যালাইড ও অনেক জৈব যৌগের পক্ষে চমৎকার দ্রাবক। গবেষণা 300° তাপাংকের উর্ধে থেকে জানা গেছে Cl−S, S−S, যোজক দূরত্ব হল যথাক্রমে 1.99A ও 2.05A এবং Cl−S−S যোজক কোণ 103° এবং এর গঠন হল



জলের সাথে S_2Cl_2-এর বিক্রিয়ায়, S_2Cl_2 প্রথমে ভারী তেলের আকারে নীচে সঞ্চিত হয় (এর ঘনত্ব=1·706) এবং তারপর ধীরে ধীরে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়। বিক্রিয়াটি জটিল। হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও সালফার ছাড়াও সালফিউরাস অ্যাসিড, থায়োসালফিউরিক অ্যাসিড ও বিভিন্ন থায়োনিক অ্যাসিড তৈরী হয়।

$$S_2Cl_2 + 2H_2O = 2HCl + H_2S + SO_2$$
$$2H_2S + SO_2 = 2H_2O + 3S$$

$5H_2S+10SO_2=3H_2S_5O_6+2H_2O$

$H_2O+SO_2+S=H_2S_2O_3$

সালফার ডাইক্লোরাইড সালফার মনোক্লোরাইডকে ক্লোরিন দিয়ে সম্পৃক্ত করলে এক লাল তরল আকারে পাওয়া যায়।

সালফার মনোব্রোমাইড, S_2Br_2, তৈরী করা যায় সালফার ও ব্রোমিনকে একটি সীলকরা টিউবে উত্তপ্ত করে।

12.11. সালফারের অক্সি-হ্যালাইড

থায়োনিল ক্লোরাইড : $SOCl_2$.

ফসফোরাস পেন্টাক্লোরাইডের উপর সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাস চালিত করলে একটি তরল পাওয়া যায়—এই তরল থায়োনিল ক্লোরাইড (স্ফুটনাংক 78°) ও ফসফোরাস অক্সিক্লোরাইডের (স্ফুটনাংক 107°) মিশ্রণ। এই তরল মিশ্রণকে আংশিক পাতন করলে প্রথম পর্যায়ে থায়োনিল ক্লোরাইড পাওয়া যায়।

$SO_2+PCl_5=SOCl_2+POCl_3$

শিল্পে 75-80° তাপাংকে সালফার মনোক্লোরাইড ও সালফার ট্রাইঅক্সাইডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে থায়োনিল ক্লোরাইড তৈরী করা হয়।

$SO_3+S_2Cl_2=SOCl_2+SO_2+S$

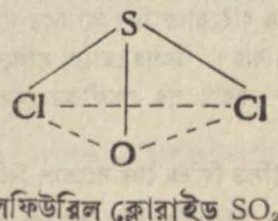
বিক্রিয়ার ফলে উৎপাদিত সালফারের মধ্যে ক্লোরিনের অবিরাম প্রবাহ চালিয়ে সালফারকে S_2Cl_2-তে পরিণত করা যায়।

জৈব যৌগে $-OH$ গ্রুপকে ক্লোরিন দিয়ে প্রতিস্থাপনের জন্য থায়োনিল ক্লোরাইড ব্যবহার করা হয়।

জলের সাথে বিক্রিয়া : জলের সংস্পর্শে তৎক্ষণাৎ ভেঙ্গে গিয়ে থায়োনিল ক্লোরাইড হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও সালফিউরাস অ্যাসিড তৈরী করে।

$SOCl_2+2H_2O=2HCl+HS_2O_3$

গঠন : থায়োনিল ক্লোরাইডের গঠন ত্রিকৌণিক পিরামিডীয় (trigonal pyramid)



সালফিউরিল ক্লোরাইড SO_2Cl_2

সূর্যালোকে অথবা কর্পূর বা চারকোলকে অনুঘটক হিসাবে ব্যবহার করে সালফার ডাইঅক্সাইড ও ক্লোরিনের সরাসরি বিক্রিয়ায় সালফিউরিল ক্লোরাইড তৈরী হয়।

$SO_2+Cl_2=SO_2Cl_2$

ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিডকে রিফ্লাক্স কনডেনসার যুক্ত একটি ফ্লাস্কে সামান্য $HgSO_4$ অনুঘটক মিশিয়ে 70° তাপাংকে উত্তপ্ত করলে SO_2Cl_2 তৈরী হয়।

$$2HSO_3Cl = SO_2Cl_2 + H_2SO_4$$

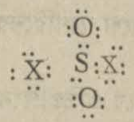
বিক্রিয়াজাতকের মিশ্রণকে একটি লম্বভাবে যুক্ত কনডেনসার লাগিয়ে পাতন করা হয়। এই কনডেনসারের মধ্য দিয়ে 70° তাপমাত্রায় উষ্ণ জল প্রবাহিত করা হয়। এর ফলে সালফিউরিল মনোক্লোরাইড (স্ফুটনাংক 69·1°) পাতিত হয়ে প্রথমে বেরিয়ে আসে ও ঘনীভূত করলে তরলে পরিণত হয়।

জলের সাথে বিক্রিয়া: বরফ জলের সাথে সালফিউরিল মনোক্লোরাইড প্রথমে একটি হাইড্রেট $SO_2Cl_2,15H_2O$ গঠন করে। স্বাভাবিক তাপাংকে SO_2Cl_2 আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে হাইড্রোক্লোরিক, অ্যাসিড ও মনোক্লোরো সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন করে।

$$SO_2Cl_2 + H_2O = ClSO_3H + HCl$$
$$SO_2Cl_2 + 2H_2O = 2HCl + H_2SO_4$$

সালফিউরিল ফ্লোরাইড তৈরী করা হয় শুষ্ক বেরিয়াম ফ্লুয়োসালফোনেটের তাপ-বিয়োজন করে। বিয়োজনের ফলে উল্লিখিত যৌগ ছাড়াও অনুদ্বায়ী বেরিয়াম সালফেট ও তৈরী হয়।

সালফিউরিল হ্যালাইডের গঠন হল –



[X = F, বা Cl]

12.12 হ্যালোজেন-অক্সিঅ্যাসিড

সালফারের দুটি হ্যালোসালফেনিক অ্যাসিডের কথা জানা আছে—এরা হল ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিড ও ফ্লুয়োসালফোনিক অ্যাসিড।

ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিড: স্বাভাবিক তাপমাত্রায় ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে শুষ্ক হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড গ্যাস চালিত করলে ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। উৎপন্ন ক্লোরো সালফোনিক অ্যাসিডকে 151° তাপাংকে পাতিত করে পৃথক করার পর পৃথকীকৃত অংশকে আবার পাতিত করে বিশুদ্ধ করা হয়।

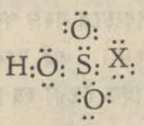
ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিড বিভিন্ন জৈব সংশ্লেষণ বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়।

জলের দ্বারা প্রচণ্ডভাবে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিড হাইড্রোক্লোরিক ও সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$ClSO_3H + H_2O = H_2SO_4 + HCl$$

ফ্লুয়োসালফোনিক অ্যাসিড তৈরী করা যায় (i) সালফার ট্রাইঅক্সাইড ও হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় (ii) ক্যালসিয়াম ফ্লোরাইড ও 60 শতাংশ SO_3 সমন্বিত সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে পাতিত করে অথবা পটাশিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লোরাইডের সাথে ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণে বিক্রিয়া ঘটিয়ে, পরবর্তী পর্যায়ে বিক্রিয়া-জাতকের পাতন করে।

হ্যালোসালফোনিক অ্যাসিডের গঠন হল—



[X = Cl বা F]

সালফারের অক্সাইড

সালফারের ছ'টি অক্সাইডের কথা জানা আছে। এরা হ'ল SO, S_2O_3, SO_2 SO_3, S_2O_7 ও SO_4. এদের মধ্যে ডাইঅক্সাইড ও ট্রাইঅক্সাইড বিশেষ প্রয়োজনীয়।

12.12a. সালফার মনোক্সাইড (SO) : শেংক ও কর্ডেস প্রথম এই যৌগটি তৈরী করে পৃথক করতে সক্ষম হন। সালফার ডাইঅক্সাইডের সাথে পর্যাপ্ত সালফার বাষ্প মিশিয়ে নিম্নচাপে বিদ্যুতপ্রবাহ সঞ্চালন করলে এক গ্যাসীয় পদার্থ পাওয়া যায়—যার থেকে পরে হয়ত বহুসংযোজনের ফলে এক কমলা-লাল পদার্থ পাওয়া যায়। সালফারকে নিম্নচাপে বাতাসে 250°–300° তাপমাত্রায় দহন করে, বা থায়োনিল ক্লোরাইডের সাথে টিন, সোডিয়াম, অ্যান্টিমনি বা স্ট্যানাস ক্লোরাইডের বিক্রিয়া করে বা থায়োনিল ক্লোরাইড ও ব্রোমাইডের তাপবিযোজন করে সালফার মনোক্সাইড তৈরী করা হয়।

সালফার মনোক্সাইড স্বাভাবিক অবস্থায় গ্যাসীয়, থায়োনিল ক্লোরাইডে দ্রবণীয়। জলীয় পটাশিয়াম হাইড্রক্সাইডের সাথে বিক্রিয়ায় সালফাইড, সালফাইট ও ডাই থায়োনেট গঠন করে। কাজেই একে সালফক্সাইলিক অ্যাসিডের নিরুদক বলা যায় না।

12.12b সালফার সেসকুইঅক্সাইড (S_2O_3)

সালফারের সঙ্গে অতিরিক্ত তরল সালফার ট্রাইঅক্সাইডের বিক্রিয়া করিয়ে অতিরিক্ত সালফার ট্রাই অক্সাইড দূর করে S_2O_3 তৈরী করা হয়। নীলাভ সবুজ এই কঠিন পদার্থ 15° তাপাংকের নীচে স্থায়ী এবং 40° থেকে 80° তাপাংকে ভেঙ্গে

গিয়ে সালফার ও সালফার ট্রাইঅক্সাইড (20%) ও সালফার মনোক্সাইড ও সালফার ডাইঅক্সাইড (80%) গঠন করে। জলের সাথে বিক্রিয়ায় সালফার ও সালফিউরিক অ্যাসিড, সালফিউরাস ও বিভিন্ন থায়োনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

12.12c সালফার ডাই অক্সাইড, SO_2

প্রস্তুতি 1. সালফার ডাই অক্সাইড প্রস্তুতির সবচেয়ে সহজ পদ্ধতি হল বাতাসে অর্থাৎ পর্যাপ্ত অক্সিজেনের সহযোগে সালফারের দহন। এই দহনক্রিয়ায় সালফার ডাই অক্সাইডের সাথে 3.6 শতাংশ সালফার ট্রাই অক্সাইড তৈরী হয়।

2. উচ্চতাপমাত্রায় কপারের মত কোনো ধাতু দিয়ে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডকে বিজারিত করলেও সালফার ডাই-অক্সাইড পাওয়া যায়। রসায়নাগারে সাধারণতঃ এই পদ্ধতি অনুসরণ করে সালফার ডাই অক্সাইড তৈরী করা হয়।

রসায়নাগারে প্রস্তুতির জন্য থিসল ফানেল ও নির্গম নল যুক্ত একটি ফ্লাস্কে কিছু কপারের কুচি নিয়ে তাতে গাঢ় সালফিইউরিক অ্যাসিড যোগ করা হল। লক্ষ্য রাখতে হবে যেন কপারের কুচিগুলি সালফিইউরিক অ্যাসিডে ডুবে থাকে। এই বার ফ্লাস্কটিকে সামান্য উত্তাপ দিলেই নির্গম নল দিয়ে সালফার ডাই অক্সাইড নির্গত হবে। একে বাতাসের ঊর্ধাপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়। অনার্দ্র বা শুষ্ক গ্যাস পেতে হলে গ্যাসটিকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড, ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড বা শুষ্ক ফসফোরাস পেন্ট অক্সাইডের মধ্য দিয়ে চালিত করে মার্কারির অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

$$Cu+2H_2SO_4=CuSO_4+2H_2O+SO_2$$

কপার ছাড়াও সালফিউরিক অ্যাসিডকে মার্কারি, সিলভার, সালফার বা চারকোল দিয়ে বিজারিত ক'রেও সালফার ডাই অক্সাইড পাওয়া যায়।

$$Hg+2H_2SO_4=HgSO_4+2H_2O+SO_2$$
$$2Ag+2H_2SO_4=Ag_2SO_4+2H_2O+SO_2$$
$$C+2H_2SO_4=2SO_2+CO_2+2H_2O$$
$$S+2H_2SO_4=3SO_2+2H_2O$$

3. সালফাইট বা বাইসালফাইটের সাথে লঘু অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়েও সালফার ডাই অক্সাইড পাওয়া যায়।

$$Na_2SO_3+2HCl=2NaCl+H_2O+SO_2$$

4. সালফার সমন্বিত খনিজ পদার্থকে বাতাসে তাপজারণ (Roasting) করেও সালফার ডাই অক্সাইড পাওয়া সম্ভব।

$$4FeS_2+11O_2=2Fe_2O_3+8SO_2$$
$$2ZnS+3O_2=2ZnO+2SO_2$$

ধর্ম : 1. সালফার ডাই অক্সাইড বাতাসের চেয়ে ভারী এক বর্ণহীন গ্যাস। এর স্ফুটনাংক ও গলনাংক যথাক্রমে −10·09° ও −75·5, সঙ্কিতাপমাত্রা 157·2° ও সহজেই একে তরলে পরিণত করা যায়। 1 আয়তন জলে 15° তাপাংকে 45 আয়তন সালফার ডাই অক্সাইড দ্রবীভূত হয়।

2. সালফার ডাই অক্সাইড জারক ও বিজারক দুই ভূমিকাতেই বিক্রিয়া করতে পারে। হাইড্রোজেন সালফাইডের ও অক্সিজেনের সাথে এর বিক্রিয়া যথাক্রমে জারণ-ও বিজারণ-ক্রিয়ার উদাহরণ। জলীয় দ্রবণে সালফার ডাই অক্সাইডের বিজারণ-ক্রিয়া বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ। সালফিউরাস অ্যাসিডের আলোচনায় এই সম্পর্কে সবিশেষ বলা হয়েছে।

3. নিজে দহনশীল না হলেও এবং হাইড্রোজেন বা জ্বলন্ত কাঠি ইত্যাদির দহনে সহায়ক না হলেও উত্তপ্ত টিন, আয়রন, ম্যাগনেশিয়াম ও পটাশিয়াম এই গ্যাসে জ্বলতে থাকে।

$$3Fe + 4SO_2 = FeS + 2FeO$$
$$3SO_2 + 4K = K_2SO_3 + K_2S_2O_3$$

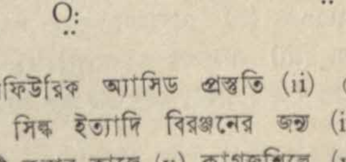
কলিচুনের সাথে বিক্রিয়া করে ক্যালসিয়াম সালফাইট এবং লেড ডাই-অক্সাইড ও সোডিয়াম পারক্সাইডের সাথে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে লেড ও সোডিয়াম সালফেট গঠন করে।

$$CaO + SO_2 = CaSO_3$$
$$PbO_2 + SO_2 = PbSO_4 \; ; \quad Na_2O_2 + SO_2 = Na_2SO_4$$

4. অক্সিজেনের সাথে প্লাটিনাম অ্যাসবেস্টস বা ভ্যানডিয়াম পেণ্টঅক্সাইডের মত অনুঘটকের উপস্থিতিতে সালফার ট্রাইঅক্সাইড তৈরী করে এবং ক্লোরিনের সাথে বিক্রিয়ায় (সূর্যালোক বা চারকোল অনুঘটকের উপস্থিতিতে) সালফিউরিল ক্লোরাইড তৈরী হয়।

$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_2 \; ; \quad SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2$$

গঠন : সালফার ডাই অক্সাইড অণু কৌনিক। O—S—O যোজক কোণ 129° ও S – Oযোজক দূরত্ব 1·4 A। এই মান থেকে অনুমিত হয় যে সালফার অক্সিজেন যোজকের কিছুটা সমযোজী ধর্ম (Covalent character) বর্তমান। এর ব্যাখ্যা প্রসঙ্গে বলা হয়েছে– সম্ভবতঃ অণুটির নিম্নোক্ত দুই রূপের মধ্যে অনুনাদ (Resouance) হচ্ছে।



ব্যবহার : (i) সালফিউরিক অ্যাসিড প্রস্তুতি (ii) কেরোসিন ও চিনি বিশোধনের জন্য (iii) উল সিল্ক ইত্যাদি বিরঞ্জনের জন্য (iv) সোডিয়াম ও ক্যালসিয়াম সালফাইট তৈরী করার কাজে (v) কাগজশিল্পে (vi) জীবাণুনাশক ও অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে (viii) রেফ্রিজারেটার-এ (ix) ক্লোরিন দূর করার জন্য অ্যান্টিক্লোর হিসাবে।

ক্লোরিন ও সালফার ডাই অক্সাইডের বিরঞ্জনের পার্থক্য :

1. ক্লোরিন ও সালফার ডাই অক্সাইড উভয়েই আর্দ্রতা বা জলের উপস্থিতি ছাড়া বিরঞ্জন করতে পারে না।

2. ক্লোরিন জারণ ক্রিয়ার মাধ্যমে জলের থেকে অক্সিজেন নির্মুক্ত করে সেই অক্সিজেনের দ্বারা বিরঞ্জন করে, পক্ষান্তরে SO_2 জায়মান হাইড্রোজেন নির্মুক্ত করে ও তার দ্বারা বিরঞ্জন ঘটে। অর্থাৎ ক্লোরিন জারণের সাহায্যে ও SO_2 বিজারণের সাহায্যে বিরঞ্জন করে।

3. সালফার ডাই-অক্সাইডের বিরঞ্জন অস্থায়ী নয় ; ক্ষার বা সূর্যালোকের দ্বারা বিরঞ্জিত বর্ণ আবার ফিরে আসতে পারে কিন্তু ক্লোরিনের দ্বারা বিরঞ্জিত বর্ণ আর ফিরে পাওয়া যায় না।

উল, সিল্ক পালক ইত্যাদির তৈরী শৌখিন জিনিষের বিরঞ্জনের জন্য ক্লোরিন ব্যবহার করা হয় না। সালফার ডাই অক্সাইড ক্লোরিনের চেয়ে মৃদু বিরঞ্জক।

12.13 সালফার ট্রাইঅক্সাইড, SO_3

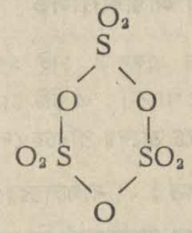
সালফার ট্রাইঅক্সাইড বা সালফিউরিক অ্যানহাইড্রাইড তৈরী করার মুখ্য পদ্ধতি হ'ল প্লাটিনাম, নিকেল বা কোবাল্ট, সালফেট, ভ্যানাডিয়াম, টাংস্টেন, ক্রোমিয়াম, মলিবডেনাম বা ফেরিক অক্সাইডের মত অনুঘটকের উপস্থিতিতে আণবিক অক্সিজেন দিয়ে সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণ। বিক্রিয়াটি তাপ-বিকীরক হলেও এর দ্বারা স্বাভাবিক তাপাংকে বিক্রিয়কগুলি উপযুক্ত দ্রুততার সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। আবার তাপমাত্রা বাড়ালে অনুঘটকের উপস্থিতি না থাকা সত্ত্বেও বিক্রিয়া দ্রুত হয় বটে, কিন্তু বিপরীত বিক্রিয়ার (অর্থাৎ $2SO_3 \rightarrow 2SO_2 + O_2$) অনুকূল অবস্থা সৃষ্টি হবার জন্য বিক্রিয়ালব্ধ SO_3-এর পরিমাণ কম হয়। দু'য়ের মধ্যে সমতা রাখার জন্য (অর্থাৎ বিক্রিয়ার গতি ও বিক্রিয়াজাতকের পরিমাণ বৃদ্ধি) শিল্পে সালফার ট্রাই অক্সাইড উৎপাদনের জন্য তাপমাত্রা 400°—665°র মধ্যে রাখা হয়।

সালফার ট্রাই অক্সাইড তৈরী করার অন্য কম গুরুত্বপূর্ণ পদ্ধতি হল—(i) ফেরিক সালফেটের মত কোন ধাতব সালফেট বা কোনো পাইরো সালফেটের শুষ্ক পাতন (Dry distillation) (ii) ওজোনের সাথে সালফার ডাই অক্সাইডের সাধারণ তাপমাত্রায় বিক্রিয়া (iii) সালফার ডাই অক্সাইডের সাথে অতিরিক্ত চাপে নাইট্রিক অক্সাইড বা উচ্চতাপ মাত্রায় নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইডের বিক্রিয়া।

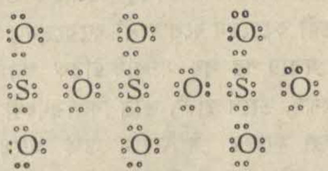
গঠন ও ধর্ম ঃ সালফার ট্রাই অক্সাইডের ভৌত ধর্মের কিছু বৈশিষ্ট্য আছে। বাষ্পীয় অবস্থায় সালফার ট্রাই-অক্সাইড একাণুক (monomeric), এবং অণুটি সমতলীয়, সমবাহু ত্রিভুজাকার। কেন্দ্রে সালফার পরমাণু আছে ও S—O যোজকদৈর্ঘ 1.43A. তরল অবস্থায়, একাণুক ও ত্রি-অনুকের (trimer) সাম্য-মিশ্রণ এবং

তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে একাণুক-এর পরিমাণ বাড়তে থাকে। কিন্তু কঠিন অবস্থায় স্পষ্ট তিনটি ভিন্ন ভিন্ন রূপ আছে।

1. গামা (γ)- রূপ : বরফের আকৃতির কঠিন পদার্থ : গঠন



2. বিটা (β) রূপ : অ্যাসবেসটস্-সদৃশ কঠিন পদার্থ, SO_3 গ্রুপগুলি পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়ে দীর্ঘ শৃংখল রচনা করে—



ইত্যাদি

3. আল্ফা (α-) রূপ—বিটা রূপের মতই গঠন, কিন্তু শৃংখলগুলি যুক্ত হয়ে স্তরে স্তরে বিন্যস্ত হয়।

সালফার ট্রাইঅক্সাইড তীব্র অ্যাসিড নিরুদক। ক্ষারীয় অক্সাইডকে সহজেই সালফেটে পরিণত করে এবং বহু ধাতু ও অধাতুর (ফ্লোরিণ ছাড়া) হ্যালাইড থেকে হ্যালোজেন মুক্ত করে। জৈব যৌগের সাথে বিক্রিয়ায় শেষ পর্যায়ে কার্বন বা সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

12.14 সালফার হেপ্টক্সাইড, S_2O_7

সালফার ডাইঅক্সাইড ও ট্রাইঅক্সাইডের সাথে অক্সিজেন মিশিয়ে তড়িত সঞ্চালন করে সালফার হেপ্টক্সাইড তৈরী হয় বলে বার্থেলো উল্লেখ করেছেন। তবে এবিষয়ের সংগৃহীত তথ্য পুণর্নিরীক্ষণের অপেক্ষা রাখে।

12.15 সালফার টেট্রক্সাইড, SO_4

বিশুদ্ধ সালফার টেট্রক্সাইড তৈরী করা হয় শুষ্ক সালফার ডাইঅক্সাইড ও অক্সিজেনের (1 : 10) মিশ্রণ 0·5 মিমি চাপে দীপ্ত মোক্ষণের সাহায্যে। তরল বায়ুপূর্ণ আধারের মাধ্যমে শীতল করলে সালফার টেট্রক্সাইড পাওয়া যায়।

এই যৌগ একটি সাদা কঠিন পদার্থ,3° তাপমাত্রায় এক তৈলাক্ত তরলে পরিণত হয়। ক্রায়োস্কোপীয় পরিমিতি থেকে এর আণবিক ওজন বের করা হয়েছে 90 থেকে 95 এর

মধ্যে। এই যৌগ তীব্র জারক এবং অ্যানিলিনকে নাইট্রোবেনজিন, আয়োডাইডকে আয়োডিন ও ম্যাঙ্গানিজ (II) কে ম্যাঙ্গানিজ (VII) স্তরে জারিত করতে পারে।

সালফারের অক্সিঅ্যাসিড

সালফারের সকল অক্সাইডের মধ্যে একমাত্র ডাই অক্সাইড ও ট্রাইঅক্সাইডকেই যথার্থ অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইড বলা যেতে পারে। এ দুটি ছাড়াও সালফারের আরও অনেকগুলি অক্সি অ্যাসিড আছে। নিচে তাদের পরিচয় দেওয়া হল।

12.16. সালফক্সাইলিক অ্যাসিড ঃ (সালফারের জারনস্তর II) H_2SO_2

এই অ্যাসিডের অস্তিত্ব কেবলমাত্র এর সোডিয়াম, জিংক ও কোবাল্ট (II) লবণ হিসাবে জানা আছে। যদিও সোডিয়াম লবণ সম্পর্কে কিছুটা সংশয় রয়েছে। ফোগেল (Vogel) ও পার্টিংটন সালফার সেসকুইঅক্সাইড ও সোডিয়াম ইথক্সাইডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে এই যৌগ তৈরী করেছেন বলে দাবী করেছেন। বিক্রিয়ার পর বিক্রিয়াজাত বস্তুকে কিছুক্ষণ রেখে দেবার পর লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড দিয়ে অধঃক্ষেপণ করালে অ্যালকোহলে অদ্রবণীয়, তাপে স্থায়ী, তীব্র বিজারণধর্মী এই যৌগ পাওয়া যায়। এর কোবাল্ট লবণ তৈরী করা হয়েছে সোডিয়াম ডাই থায়োনাইট, কোবাল্ট (II) অ্যাসিটেট ও অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে—

$$CoS_2O_4 + 2NH_3 + H_2O \longrightarrow CoSO_2 + (NH_4)_2SO_3$$

এবং একে CO_2 দিয়ে সম্পৃক্ত করে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়; এর রঙ বাদামী। এবং জিংক-লবণ তৈরী করা হয় জিংক পাউডার ও সালফিউরিল ক্লোরাইডের ইথারীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায়।

এর গঠন ঃ H :Ö: :S̈: :Ö: H (←)

12.17 ডাইথায়োনাস অ্যাসিড (হাইপোসালফিউরাস অ্যাসিড) $H_2S_2O_4$

সালফিউরাস অ্যাসিডকে অ্যামালগামেটেড (Amalgamated) জিংক দিয়ে বিজারিত করে ডাইথায়োনাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ তৈরী করা যায় কিন্তু এই জলীয় দ্রবণ দ্রুত ভেঙ্গে যায়—

$$2S_2O_4{}^{2-} + H_2O \longrightarrow S_2O_3{}^{2-} + 2HSO_3{}^{-}$$

জলের বদলে অ্যাসিড যোগ করলে উক্ত অ্যাসিড ভেঙ্গে গিয়ে সালফিউরাস অ্যাসিড ও সালফার তৈরী করে। এই অ্যাসিডের দ্রবণ তীব্র বিজারক। ক্রায়োস্কপীয় পরিমিতি থেকে জানা গেছে ডাইথায়োনাস আয়নের সংকেত হবে $S_2O_4{}^{2-}$। এর সোডিয়াম লবণ ডায়াম্যাগনেটিক।

সোডিয়াম ডাইথায়োনাইট তৈরী করা হয় সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইটের দ্রবণকে জিংক পাউডার দিয়ে বিজারিত করে। একে পৃথক করা হয় প্রথমে অতিরিক্ত সালফাইটকে $Ca(OH)_2$ দিয়ে অধঃক্ষিপ্ত করে এবং তারপর জলে দ্রবণীয় কোনো সোডিয়ামের লবণ দিয়ে একে 2-হাইড্রেট হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত করে। কোনো প্রক্রিয়াতেই সামান্যতম অক্সিজেন থাকা চলবে না। এর অনার্দ্র লবণ তৈরী করা হয় পূর্বোক্ত উপায়ে প্রাপ্ত লবণের অ্যালকোহল ডিহাইড্রেশন বা ভ্যাকুয়াম ডিহাইড্রেশন করে।

12.18 সালফিউরাস অ্যাসিড

সালফার ডাই অক্সাইড জলে দ্রুত দ্রবীভূত হয়ে সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ সৃষ্টি করে। এই জলীয় দ্রবণে প্রধানতঃ HSO_3^- আয়ন থাকে এবং এর সঙ্গে সামান্য পরিমাণে থাকে SO_3^{2-} আয়ন। 25° তাপাংকে এই অ্যাসিডের বিয়োজন ধ্রুবক হল যথাক্রমে $pK_1 = 1{\cdot}77$ ও $pK_2 = 7{\cdot}20$. এই অ্যাসিড মুক্ত অবস্থায় কখনই পাওয়া যায় না। তবে সালফিউরাস অ্যাসিডের গাঢ় দ্রবণকে নিম্ন তাপমাত্রায় কেলাসিত করলে $SO_2, 7H_2O$ এই হাইড্রেট পাওয়া যায়। সোডিয়াম সালফাইটের এক্স-রে বিশ্লেষণে প্রাপ্ত তথ্য থেকে জানা গেছে ক্লোরাইট আয়নের মতই সালফাইট আয়নও গঠনে পিরামিডীয়।

সালফার ডাই অক্সাইডের মতো সালফিউরাস অ্যাসিডের মুখ্য বৈশিষ্ট্য তার বিজারণ ধর্ম। আণবিক অক্সিজেনের সাথে সালফার ডাই-অক্সাইডের বিক্রিয়া গভীরভাবে অনুধাবন করা হয়েছে। বিশেষতঃ কি কি অবস্থায়, কি ভাবে এই বিক্রিয়া ঘটে সে সম্পর্কে সবিশেষ গবেষণা করা হয়েছে। জানা গেছে এই বিক্রিয়া যেমন প্লাটিনাম, ভ্যানাডিয়াম পেণ্ট অক্সাইড ইত্যাদি অনুঘটকের উপস্থিতিতে ত্বরান্বিত হয় আবার তেমনই ফেনল. গ্লিসারল, ম্যানিটল, ও টিন (II) আয়নের উপস্থিতি এই বিক্রিয়ার পক্ষে প্রতিকূল। সালফিউরাস অ্যাসিডের জারণে ডাইথায়োনেট ও সালফেট উৎপন্ন হয়। সালফিউরাস অ্যাসিডের ও সালফাইটের জারণ-বিজারণের বৈশিষ্ট্য সন্নিবদ্ধ করা হল : আম্লিক মাধ্যমে :

$$H_2SO_3 + H_2O \rightleftarrows SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e \qquad E^\circ_{298} = -0{\cdot}20 \text{ ভোল্ট}$$
$$H_2SO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2SO_3 + 2H^+ + 2e \qquad -> 0{\cdot}4$$
$$S_2O_3^{2-} + 3H_2O \rightleftarrows 2H_2SO_3 + 2H^+ + 4e \qquad = -0{\cdot}4$$
$$S + 3H_2O \rightleftarrows H_2SO_3 + 4H^+ + 4e \qquad = -0{\cdot}35$$

ক্ষারীয় মাধ্যমে :

$$H_2SO_3 + 4OH^- \rightleftarrows SO_4^{2-} + 3H_2O + 2e \quad E^\circ_{298} = 0{\cdot}90 \text{ ভোল্ট}$$
$$S_2O_3^{2-} + 6OH^- \rightleftarrows 2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e \qquad = 0{\cdot}58$$

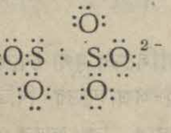
12.19 সোডিয়াম সালফাইট প্রস্তুত প্রণালী :

প্রথমে ভালো করে শীতল করা সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের গাঢ় দ্রবণকে দুভাগে ভাগ করে নেওয়া হয়। প্রথম অংশকে সালফার ডাই অক্সাইড গ্যাস দিয়ে সম্পৃক্ত করা হয় এর ফলে দ্রবণে সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইট তৈরী হয়। এইবার এই অংশের সাথে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণের অন্য অংশ মেশান হয় এবং মিশ্রিত দ্রবণকে বাষ্পীভূত করে কেলাসিত করলে Na_2SO_3, $7H_2O$—এর কেলাস পাওয়া যায়।

12.20 সোডিয়াম মেটাবাইসালফাইট : সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইটকে পর্যাপ্ত SO_2 দিয়ে সম্পৃক্ত করে বাষ্পায়িত করলে সোডিয়াম মেটাবাই সালফাইট বা সোডিয়াম ডাই সালফাইট NaS_2O_5 (Na_2O, $2SO_2$) কেলাসিত হয়ে দ্রবণ থেকে বেরিয়ে আসে।

12.21 পাইরো সালফিউরাস অ্যাসিড, $H_2S_2O_5$ (সালফারের জারণ স্তর IV)

মুক্ত পাইরোসালফিউরাস অ্যাসিডের সন্ধান জানা না থাকলেও দেখা গেছে ক্ষারীয় ধাতুর সালফাইট বা হাইড্রোজেন সালফাইটকে উত্তপ্ত করলে সংশ্লিষ্ট ধাতুর পাইরোসালফাইট পাওয়া যায়। জাকারিয়াসেনের মতে $S_2O_5{}^{2-}$ আয়নের গঠন



এবং S–S ও S–O যোজক দূরত্ব যথাক্রমে 2.18A ও 1.46A.

12.22(a) সালফিউরিক অ্যাসিড

বহু প্রাচীন কাল থেকেই সালফিউরিক অ্যাসিডের ব্যবহার মানুষের জানা ছিল। প্রাচীন অ্যালকেমিস্টরাও এর ব্যবহার জানতেন ও এর নাম দিয়েছিলেন Oil of vitriol. বর্তমান রসায়নশিল্পে সালফিউরিক অ্যাসিড এক অপরিহার্য উপাদান। বস্তুতঃ সালফিউরিক অ্যাসিডের উৎপাদন ও ব্যবহারকে কোনো দেশের অগ্রগতির নিদর্শন বা সূচক হিসাবে ধরা হয়। এর বহুমুখী ব্যবহার ও বিবিধ প্রয়োগ লক্ষ্য করে বহু রাসায়নিক একে "Oil of Allahdin's lamp" আখ্যা দিয়েছেন।

In the house of Chemists Sulfuric acid is the man of all work ; with multiplicity of talents he is ever-ready to probe

into nature's secrets. Although threats are now-a-days been made to throw him off, but he by his ingenious techniques, opens new vistas and explores still newer fields. So he is still with us, much more useful than before. ···Indeed, he should be regarded not as oil of vitriol but more truely as "oil of Aallahdin's lamp".

প্রস্তুতি :

(1) লেড প্রকোষ্ঠ পদ্ধতি ও (2) স্পর্শ পদ্ধতির সাহায্যে সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করা যায়। প্রকোষ্ঠ পদ্ধতিতে আর্দ্র SO_2-কে নাইট্রোজেনের অক্সাইডের সান্নিধ্যে (যা অনুঘটকের কাজ করে) বাতাসের অক্সিজেন দিয়ে জারিত করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে মধ্যবর্তী স্তরে নাইট্রোসো-সালফিউরিক অ্যাসিড গঠিত হয় ও উক্ত যৌগ জলের সাথে বিক্রিয়া করে সালফিউরিক অ্যাসিড ও পুনরায় নাইট্রোজেনের অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$2SO_2+N_2O_3+O_2+H_2O=2HO.SO_2.O.NO$$
$$2HO.SO_2.O.NO+H_2O=2HO.SO_2.OH+N_2O_3$$

2. স্পর্শ পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ সালফার ডাই অক্সাইডকে প্রধানতঃ প্ল্যাটিনাইজড্ অ্যাসবেসটস বা ভ্যানাডিয়াম পেণ্টঅক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে বাতাসের অক্সিজেনের সাহায্যে জারিত করে SO_3 গঠন করা হয়। এই SO_3 জলের সাথে বিক্রিয়া করে সালফিউরিক অ্যাসিড সৃষ্টি করে। জারণ-ক্রিয়ার সময় তাপমাত্রা প্রায় 450°তে রাখা হয়। একমাত্র এই তাপমাত্রাতেই বিক্রিয়ার গতি ও বিক্রিয়াজাতকের মধ্যে একটা আশানুরূপ সমতা থাকে। তাপমাত্রার পরিবর্তন করলে হয় বিক্রিয়ার গতি কমে যায়, আর না হলে বিক্রিয়াজাতকের পরিমাণ হ্রাস পায়। এই তাপমাত্রাকে **মাত্রা তাপাংক** (optimum temperature) বলে।

12.22(b) ধর্ম :

1. সালফিউরিক অ্যাসিড তেলের মত ঘন (ঘনত্ব 15° তাপাংকে 1.848), বর্ণহীন তরল। 10.49° তাপাংকে সালফিউরিক অ্যাসিড জমে কঠিন হয়ে যায়। স্ফুটনাংকে বিয়োজিত হয়ে SO_3 সৃষ্টি করে। 98.3 শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিডের স্ফুটনাংক 338.

2. বিশুদ্ধ অবস্থায় বিদ্যুতের অপরিবাহী হলেও, এর জলীয় দ্রবণ তাপ ও বিদ্যুতের সুপরিবাহী।

3. উত্তপ্ত ঝামা পাথরের উপর ফোঁটা ফোঁটা করে ফেললে ভেঙ্গে গিয়ে জল, সালফার ডাই অক্সাইড ও অক্সিজেনে পরিণত হয়।

4. **জলের সাথে বিক্রিয়া :** জলের সাথে যে কোনো মাত্রাতেই মেশানো যেতে পারে, তবে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড প্রচণ্ড জলাকর্ষী। জলের সঙ্গে মেশালে প্রচুর তাপ উদ্ভূত হয় ও হাইড্রেট গঠন করে।

$$H_2SO_4, H_2O ; \quad H_2SO_4, 2H_2O ; \quad H_2SO_4, 4H_2O$$

জলের প্রতি প্রবল আকর্ষণের জন্যই গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ফরমিক অ্যাসিড, অক্সালিক অ্যাসিড, চিনি থেকে জল শোষণ করে নিতে পারে।

$$\text{(i)}\quad HCOOH + H_2SO_4 \xrightarrow{-H_2O} CO + (H_2O + H_2SO_4)$$

$$\text{(ii)}\quad C_2H_2O_4 + H_2SO_4 \xrightarrow{-H_2O} CO + CO_2 + (H_2SO_4, H_2O)$$

$$\text{(iii)}\quad C_{12}H_{22}O_{11}(\text{চিনি}) \xrightarrow[H_2SO_4]{-11H_2O} 12C$$

এইজন্যই জলের বিশোষক হিসাবে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয়।

5. **অ্যাসিড ধর্ম :** সালফিউরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ তীব্র দ্বিক্ষারীয় অ্যাসিড। জলীয় দ্রবণে এর আয়নন দুই পর্যায়ে ঘটে

$$H_2SO_4 \rightleftarrows H^+ + HSO_4^-$$

$$HSO_4^- \rightleftarrows H^+ + SO_4^{--}$$

কাজেই H_2SO_4 আসিড-লবণ ও প্রশম-লবণ গঠন করতে পারে।

লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড একমাত্র লেড ছাড়া তড়িত রাসায়নিক পর্যায়ে হাইড্রোজেনের উপরে স্থিত যে কোন ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে সংশ্লিষ্ট ধাতব সালফেট ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে

উচ্চতর তাপমাত্রায় গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড অপেক্ষাকৃত শক্তিশালী হাইড্রোক্লোরিক ও নাইট্রিক অ্যাসিডকে তাদের লবণ থেকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। নাইট্রিক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের থেকে সালফিউরিক অ্যাসিড কম উদ্বায়ী বলেই এটা সম্ভব।

$$NaCl + H_2SO_4 \rightleftarrows NaHSO_4 + HCl$$

$$2NaNO_3 + H_2SO_4 \rightleftarrows Na_2SO_4 + 2HNO_3$$

6. **জারণ ধর্ম :** তপ্ত গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড তড়িতরাসায়নিক পর্যায়ে হাইড্রোজেনের উপরের ও নীচের বহু ধাতুর (যেমন জিংক, কপার লেড, সিলভার, মার্কারি) সঙ্গে বিক্রিয়া করে সালফার ডাই অক্সাইড, জল ও ধাতব লবণ উৎপন্ন করে।

$$Pb + 2H_2SO_4 = SO_2 + 2H_2O + PbSO_4$$

$$Cu + 2H_2SO_4 = SO_2 + 2H_2O + PbSO_4$$

এ'ছাড়া সালফার ও কার্বনের সাথে বিক্রিয়া করে তাদের সালফার ডাই অক্সাইড ও কার্বন ডাই অক্সাইডে, ফসফোরাসকে ফসফোরাস অ্যাসিডে পরিণত করে এবং হাইড্রোজেন ব্রোমাইড ও আয়োডাইড থেকে যথাক্রমে ব্রোমিন ও আয়োডিন নির্মুক্ত করতে পারে।

$$2H_2SO_4 + S = 3SO_2 + 2H_2O$$
$$2H_2SO_4 + C = CO_2 + 2SO_2 + 2H_2O$$
$$3H_2SO_4 + 2P = 2H_3PO_3 + 3SO_2$$
$$H_2SO_4 + 2HBr = Br_2 + SO_2 + 2H_2O$$
$$H_2SO_4 + 2HI = I_2 + SO_2 + 2H_2O$$

সালফিউরিক অ্যাসিড কোনো কোনো বিক্রিয়ায় হাইড্রক্সিল মূলকসম্পন্ন যৌগের মত কাজ করে। যেমন ফসফোরাস পেণ্টাক্লোরাইডের সাথে বিক্রিয়ায় সালফিউরিক অ্যাসিডের দুটি হাইড্রক্সিল মূলকের একটি ক্লোরিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। পরে আর একটি হাইড্রক্সিল মূলক প্রতিস্থাপিত হলে সালফিউরিল ক্লোরাইড গঠিত হয়।

$$HO-SO_2-OH + PCl_5 = HO-SO_2-Cl + POCl_3 + HCl$$
$$HO-SO_2-Cl + PCl_5 = Cl-SO_2-Cl + POCl_3 + HCl$$

বেনজিন প্রভৃতি অ্যারোমেটিক যৌগকে সালফিউরিক অ্যাসিড সালফোনেটে পরিণত করে।

$$C_6H_6 + HO-SO_2-OH = C_6H_5SO_2OH + HOH$$

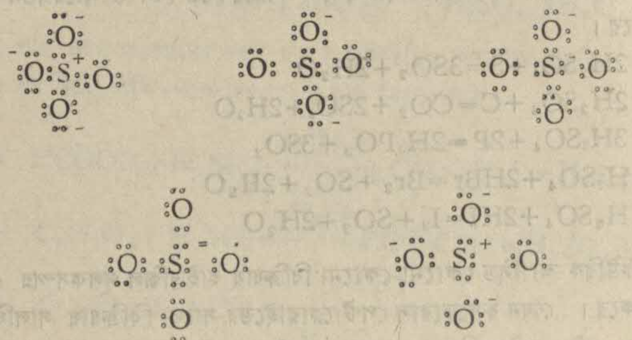
8. সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্রবণকে তিনটি বিভিন্ন অবস্থায় তড়িতবিশ্লেষণ করলে (i) হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন (ii) ওজোনিত অক্সিজেন ও (iii) পারক্সি-সালফিউরিক অ্যাসিড গঠিত হয়।

12.22c ব্যবহার: প্রায় সর্বপ্রকারের শিল্পেই সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। এগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য—

1. হাইড্রোক্লোরিক, নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুতি, পেণ্ট, পিগমেণ্ট, রং, গ্লু, বিস্ফোরক দ্রব্যের উৎপাদনে. 2. অ্যালাম, সার, সুপারফসফেট, স্টার্চ থেকে গ্লুকোজ প্রস্তুতিতে, 3. লৌহ ও ইস্পাত শিল্পে, 4. গ্যালভানাইজিং-এর কাজে, 5. পেট্রোলিয়াম পরিশোধনে, 6 স্বর্ণ ও রৌপ্যের নিষ্কাশনে, 7. স্টোরেজ সেলে।

12.22d গঠন: সালফিউরিক অ্যাসিডে সালফার-পরমাণুকে চারদিকে চারটি অক্সিজেন পরমাণু চতুস্তলকীয়ভাবে (tetrahedrally) ঘিরে আছে আর হাইড্রোজেন পরমাণুগুলি বিভিন্ন SO_4 চতুস্তলককে পরস্পর সংযুক্ত করে রাখে। S–O যোজক দৈর্ঘ্য 1.51A. কিন্তু পারমাণবিক ব্যাসার্দ্ধের যোগফল 1·78A°। আবার S=O-এর

যোজক দৈর্ঘ 1·57A. এ'থেকে মনে হয় সালফিউরিক অ্যাসিডে নিম্নরূপ গঠনগুলির মধ্যে অনুনাদ (Resonance) ঘটছে



১২.23 পাইরোসালফিউরিক অ্যাসিড $H_2S_2O_7$ (সালফারের জারণস্তর VI)

বিশুদ্ধ সালফিউরিক অ্যাসিড ও সালফার ট্রাইঅক্সাইডের 1:1 অনুপাতে বিক্রিয়া ঘটলে পাইরোসালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী হয়। প্রকৃতপক্ষে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডে যে কোনো পরিমাণে সালফার ট্রাইঅক্সাইড দ্রবীভূত হতে পারে (এবং একে ওলিয়াম বলা হয়) কিন্তু পাইরোসালফিউরিক অ্যাসিড বলতে বোঝায় সালফার ট্রাই অক্সাইড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণের সেই সংযুতি (Composition) যে সংযুতিতে মিশ্রণের গলনাংকের মান সর্বাধিক। এই অ্যাসিড থেকে ধীরে ধীরে SO_3 বিচ্যুত হয় এবং তাপমাত্রা বাড়ালে তা আরও বৃদ্ধি পায়। ক্ষারীয় ধাতব হাইড্রোজেন সালফেটকে উত্তপ্ত করলে জল অপসৃত হয় ও সংশ্লিষ্ট পাইরোসালফেট তৈরী হয়।

$$2KHSO_4 \longrightarrow K_2S_2O_7 + H_2O$$

পাইরোসালফেটগুলি উৎকৃষ্ট উচ্চতাপীয় অ্যাসিড (high temperature acid) জলীয় দ্রবণে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে হাইড্রোজেন সালফেট উৎপন্ন করে।

12.24. থায়োসালফিউরিক অ্যাসিড ও সোডিয়াম থায়োসালফেট $H_2S_2O_3$ [সালফারের জারণস্তর +6 (−2]

থায়োসালফিউরিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন থায়োসালফেট—এর কোনোটিকেই থায়োসালফেট ও হাইড্রোজেন আয়নের পারস্পরিক বিক্রিয়ার জন্য—কখনই মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না তবুও অনেক ধাতুই ধাতব থায়োসালফেট গঠন করে এবং এদের মধ্যে সোডিয়াম থায়োসালফেটই সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য।

প্রস্তুতি : 1. পাউডার সালফারকে সোডিয়াম সালফাইটের দ্রবণে ফুটালে সোডিয়াম থায়োসালফেট তৈরী হয়। $Na_2SO_3 + S = Na_2O_3$ দ্রবণটিকে ফিলটার করে পরিস্রুত অংশকে বাষ্পীভূত করলে $Na_2O_3, 5H_2O$এর বর্ণহীন মনোক্লিনিক কেলাস পাওয়া যায়। বাজারে এই সোডিয়াম থায়োসালফেট "হাইপো" নামে পরিচিত।

2. কস্টিক সোডা বা মিল্‌ক অব লাইমকে সালফার মিশিয়ে ফোটালে সালফাইডের সাথে থায়োসালফেটের উৎপন্ন হয়।

$$6NaOH + 4S = Na_2S_2O_3 + Na_2S + 3H_2O$$

শিল্প-প্রস্তুতি : শিল্পে সোডিয়াম থায়োসালফেট তৈরী করা হয় সোডিয়াম সালফাইডের দ্রবণে [আরও সঠিকভাবে বলতে গেলে সোডিয়াম সালফেটকে কোক-কয়লার সাথে বিগলিত করে সোডিয়াম সালফাইড পাওয়া যায়। এই সোডিয়াম সালফাইডকে জলে দ্রবীভূত করে দ্রবণ থেকে বাষ্পায়নের সাহায্যে কেলাসিত সোডিয়াম সালফাইড পাওয়া যায়। কেলাসিত করার পর যে জনয়িত্রী দ্রব (Mother liquor) থাকে এ ক্ষেত্রে তাই ব্যবহার করা হয়।] SO_2 গ্যাস চালিত করে সোডিয়াম থায়োসালফেট তৈরী করা হয়।

$$Na_2SO_4 + C = Na_2S + 4CO$$

$$2Na_2S + 3SO_2 = 2Na_2S_2O_3 + S$$

$$2Na_2S + Na_2CO_3 + SO_2 = 3Na_2S_2O_3 + CO_2$$

ধর্ম : 1. সোডিয়াম থায়োসালফেট এক বর্ণহীন কেলাস, গলনাংক 48°। 215° তাপাংকে এর কেলাস জলের পাঁচটি অণুই দূর হয়ে যায় ও 228° তাপাংকে এর বিয়োজন ঘটে।

2. থায়োসালফেট আয়ন একটি মধ্যম শক্তির বিজারক ; এর সত্যতা নিচের রেডক্স-বিক্রিয়া থেকে স্পষ্ট ;

$$2S_2O_3^{2-} \rightleftarrows S_4O_6^{2-} + 2e \qquad E^\circ_{298} = -0{\cdot}17 \text{ ভোল্ট}$$

বিভিন্ন অধাতু ও ধাতব লবণের সাথে সোডিয়াম থায়োসালফেটের বিক্রিয়া নিচে দেওয়া হল :

(i) সিলভার নাইট্রেটের সাথে : সিলভার নাইট্রেটের সহযোগে সিলভার থায়োসালফেটের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। এই অধঃক্ষেপ অতিরিক্ত সোডিয়াম থায়োসালফেটে দ্রুত দ্রবীভূত হয়ে জটিল যৌগ $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$ গঠন করে। সিলভার থায়োসালফেটের অধঃক্ষেপ অস্থায়ী। রেখে দিলে বা গরম করলে দ্রুত ভেঙ্গে যায় এবং রঙ ক্রমশঃ সাদা থেকে হলদে এবং বাদামী ও সবশেষে কালো (Ag_2S-এর জন্য) হয়ে যায়।

$$Na_2S_2O_3 + 2AgNO_3 = Ag_2S_2O_3 + 2NaNO_3$$

$$Ag_2S_2O_3 + H_2O = Ag_2S + H_2SO_4$$

$$Ag_2S_2O_3 + 3Na_2S_2O_3 = 2Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$$

(ii) অরিক ক্লোরাইডের সাথে : প্রথমে অরিক ক্লোরাইড বিজারিত হয়ে অরাস ক্লোরাইডে পরিণত হয়। এই অরাস ক্লোরাইড অতিরিক্ত সোডিয়াম থায়োসালফেটের সাথে জটিল সোডিয়াম অরোথায়োসালফেট গঠন করে। অ্যালকোহলের সাহায্যে একে দ্রবণ থেকে পৃথক করা যায়।

$$AuCl_3 + 2Na_2S_2O_3 = AuCl + Na_2S_4O_6 + 2NaCl$$
$$AuCl + 2Na_2S_2O_3 = Na_3[Au(S_2O_3)_2] + NaCl$$
$$AuCl_3 + 4Na_2S_2O_3 = Na_3[Au(S_2O_3)_2] + Na_2S_4O_6 + 3NaCl$$

(iii) কপার সালফেটের সাথে : প্রথমে কিউপ্রিক সালফেট থেকে কিউপ্রাস সালফেট হয় ও পরে অতিরিক্ত সোডিয়াম থায়োসালফেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সোডিয়াম কিউপ্রোথায়োসালফেট গঠিত হয়।

$$2Na_2S_2O_3 + 2CuSO_4 = Na_2S_4O_6 + Na_2SO_4 + Cu_2SO_4$$
$$Cu_2SO_4 + 2Na_2S_2O_3 = Na_2[Cu\ (S_2O_3)_2] + Na_2SO_4$$

(iv) ফেরিক ক্লোরাইডের সাথে : প্রথমে পার্পল ভায়োলেট ফেরিক থায়োসালফেট হয় এবং এই রঙ দ্রুত মিলিয়ে যায় কারণ বিক্রিয়ার ফলে ফেরিক থেকে বর্ণহীন ফেরাস ক্লোরাইড তৈরী হয়।

$$2FeCl_3 + 2NaS_2O_3 = 2FeCl_2 + NaS_4O_6 + 2NaCl$$

(v) আয়োডিনের সাথে : সোডিয়াম থায়োসালফেট আয়োডিন দ্বারা জারিত হয়ে সোডিয়াম টেট্রাথায়োনেট তৈরী হয় এবং বিক্রিয়ার ফলে সোডিয়াম আয়োডাইড হবার জন্য আয়োডিনের বাদামী রং মিলিয়ে যায়। **এই বিক্রিয়া সোডিয়াম থায়োসালফেটের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া।**

$$2Na_2S_2O_3 + I_2 = Na_2S_4O_6 + 2NaI$$

(vi) ব্রোমিন বা ক্লোরিণের সাথে : ব্রোমিন বা ক্লোরিণ সোডিয়াম থায়োসালফেটকে জারিত করে ও মৌল সালফার বিক্রিয়ার ফলে নিমু´ক্ত হয়

$$Na_2S_2O_3 + X_2 + H_2O = Na_2SO_4 + 2HX + S$$
$$(X = Cl \text{ বা } Br)$$

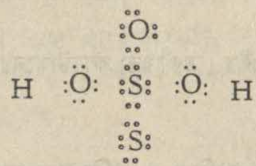
(vii) পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের সাথে : পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের প্রশম দ্রবণ থায়োসালফেটকে জারিত করে।

$$2KMnO_4 + 4Na_2S_2O_3 = K_2SO_4 + Na_2SO_4 + Mn_2O_3$$

(viii) সিলভার ক্লোরাইডের সাথে : সিলভার নাইট্রেটের মতই বিক্রিয়া ঘটে। এই বিক্রিয়া ফোটোগ্রাফিতে ফিক্সিং-এর (fixing) কাজে ব্যবহার করা হয়।

ব্যবহার : (i) ফোটোগ্রাফির বিভিন্ন কাজে ii) ক্লোরিন দূর করতে "অ্যান্টি-ক্লোর" হিসাবে (iii) বৈশ্লেষিক বিকারক হিসাবে মাত্রিক বিশ্লেষণে (Quantitative analysis) (iv) ঔষধশিল্পে।

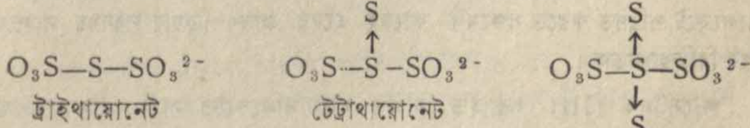
গঠন : গঠনের দিক থেকে থায়োসালফিউরিক অ্যাসিড ও সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে সাদৃশ্য আছে। এর সম্ভাব্য গঠন :



কাজেই সোডিয়াম থায়োসালফেটে হাইড্রোজেনের পরিবর্তে উল্লিখিত গঠনে দুটি সোডিয়াম পরমাণু থাকবে।

12.25 থায়োনিক অ্যাসিড সমূহ : [$H_2S_xO_6$, $x = 2-6$]

থায়োনিক অ্যাসিডগুলিকে H_2SxO_6 এই সাধারণ সংকেত দিয়ে প্রকাশ করলে তাদের মোটামুটি দুটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়—ডাইথায়োনিক অ্যাসিড (এর ক্ষেত্রে $x=2$) ও পলিথায়োনিক অ্যাসিড সমূহ (এদের ক্ষেত্রে $x>2$)। এর কারণ ডাইথায়োনিক অ্যাসিড ও অন্যান্য পলিথায়োনিক অ্যাসিডগুলির মধ্যে ধর্মের ও চরিত্রের পার্থক্য এতই স্পষ্ট যে এদের দুটি আলাদা শ্রেণী হিসাবে গণ্য করাই শ্রেয়। এই সব অ্যাসিডের মধ্যে সালফার-পরমাণু শৃংখল আছে এবং ডাইথায়োনেট ও ট্রাইথায়োনেট আয়নের এক্সরে পরীক্ষা থেকে এর সত্যতা প্রমাণিত হয়েছে। ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের বিভিন্ন উপাত্তগুলিও এর সমর্থন করে। ডাইথায়োনেটে S—S এবং S—O যোজকদূরত্ব হল যথাক্রমে 2.08A 3 1.50A. ট্রাইথায়োনেটে S—S-S যোজক কোণ মোটামুটিভাবে প্রায় 100°. উর্ধতন থায়োনেটগুলি বলা যেতে পারে ট্রাই থায়োনেটের কেন্দ্রীয় সালফার পরমাণুর সাথে কো-অর্ডিনেট বন্ধন দ্বারা যুক্ত আছে।



ট্রাইথায়োনেট টেট্রাথায়োনেট পেণ্টাথায়োনেট

ডাইথায়োনিক অ্যাসিড ও তার লবণ তৈরী করার সবচেয়ে ভালো উপায় হল সালফার ডাই অক্সাইড বা সালফাইটের জারণ। এটা তড়িত জারণ বা ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড, পারম্যাঙ্গানেট, আয়রন (III) বা কোবাল্ট (III) হাইড্রক্সাইড দিয়েও সম্ভব। ল্যাবোরেটরী পদ্ধতিতে জলে ভাসমান সূক্ষ্ম MnO_2 কণার মধ্যে সালফার ডাই অক্সাইড গ্যাস 10° তাপমাত্রায় চালিত করলে দ্রবণে ডাইথায়োনেট ও ম্যাঙ্গানিজ (II) সালফেট উৎপন্ন হয়। এই দ্রবণ থেকে ডাইথায়োনেট পেতে হলে Mn^{2+} ও সালফেট আয়নকে প্রথমে ক্যালসিয়াম হাইড্রক্সাইড ও বেরিয়াম

হাইড্রোক্সাইড দিয়ে অপসারিত করে তারপর অতিরিক্ত হাইড্রক্সাইডকে কার্বন ডাই অক্সাইড দিয়ে দূর করা হয় এবং সবশেষে কেলাসনের দ্বারা ক্যালসিয়াম বা বেরিয়াম-লবণ সংগ্রহ করা হয়।

সব ডাইথায়োনেটগুলিই জলে দ্রবণীয় ; দ্রবণীয়তা ক্যাটায়নের উপর নির্ভরশীল নয়।

পলিথায়োনিক অ্যাসিড ও পলিথায়োনেট

যদিও মুক্ত অবস্থায় পলিথায়োনিক অ্যাসিড পাওয়া যায় না তবুও হেক্সাথায়োনিক অ্যাসিড পর্যন্ত সব পলিথায়োনিক অ্যাসিডের লবণের অস্তিত্বের কথা জানা আছে। পলিথায়োনেটের রসায়ন অতি জটিল এবং সম্পূর্ণ পরিষ্কার নয়।

অস্থায়ী হলেও তীব্র শক্তিশালী এই অ্যাসিডগুলির বিভিন্ন হালকা ও ভারী ধাতুর সঙ্গে গঠিত কেলাসিত প্রশম লবণ তৈরী করা হয়েছে ; এদের সবগুলিই জলে দ্রবণীয়। ক্ষারের সহযোগে উর্ধতন পলিথায়োনেট হয় এবং ট্রাইথায়োনেট ভেঙ্গে গিয়ে হয় সালফাইট ও থায়োসালফেট। আম্লিক মাধ্যমে বিক্রিয়া আরও জটিল। মৃদু অ্যাসিড দ্রবণে টেট্রাথায়োনেট থেকে ট্রাই ও পেণ্টাথায়োনেট, পেণ্টাথায়োনেট থেকে সালফার ও টেট্রাথায়োনেট এবং হেক্সাথায়োনেট থেকে সালফার ও পেণ্টাথায়োনেট হয়। সায়ানাইড পলিথায়োনেটকে সালফেট ও থায়োসালফেটে পরিণত করে এবং সঙ্গে থায়োসায়ানেট গঠিত হয়।

পলিথায়োনেটগুলি মৃদু জারক। নিচের রেডক্স বিক্রিয়াযুগল থেকে তা স্পষ্ট।

$$S_3O_6^{2-} + 3H_2O = 3H_2SO_3 + 2e^- \qquad E^\circ_{298} = -0{\cdot}68 \text{ ভোল্ট}$$

$$S_5O_6^{2-} + 9H_2O = 5H_2SO_3 + 8H^+ + 10e^- \qquad E^\circ_{298} = -0{\cdot}45 \text{ ভোল্ট}$$

যে সব জারক এদের সাথে বিক্রিয়া করতে পারে তারাই আবার সালফিউরাস অ্যাসিডকে সালফেটে পরিণত করতে সক্ষমে। কাজেই এদের জারণ ক্রিয়ায় সবসময় সালফেটই শেষ বিক্রিয়াজাতক।

আর্সেনিক (III) অক্সাইড মিশ্রিত থায়োসালফেটের সাথে সালফার ডাই-অক্সাইডের বিক্রিয়া করে পলিথায়োনেট তৈরী করা যায়। এভাবে সকল পলি-থায়োনেটই প্রস্তুত হতে পারে, কিন্তু তাদের আপেক্ষিক অনুপাত নির্ভর করে অ্যাসিড ও আর্সেনাইটের পরিমাণের ওপর। এই সাধারণ প্রস্তুত-প্রণালীর সামান্য হেরফের করে ট্রাই, পেণ্টা ও হেক্সাথায়োনেটের সোডিয়াম লবণ তৈরী হয়। টেট্রা-থায়োনেট তৈরী করার সবচেয়ে ভাল উপায় হল আয়োডিন ও থায়োসালফেটের বিক্রিয়া। নাইট্রেট ও থায়োসালফেটের 8N হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দ্রবণে শীতল অবস্থায় বিক্রিয়া ঘটিয়েও হেক্সাথায়োনেট তৈরী করা যায়।

পলিথায়োনেট-রসায়নের আর এক গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হল **"ওয়াকেনরোডার-এর দ্রবণ"**। কলয়ডীয় সালফারযুক্ত এই দ্রবণ সালফিউরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে

হাইড্রোজেন সালফাইড প্রবাহিত করলে পাওয়া যায়। এর সম্পর্কে গবেষণা থেকেই পলিথায়োনেটের অস্তিত্ব সম্বন্ধে সর্বপ্রথম জানা গিয়েছিল। মূল পেন্টা ও টেট্রা-থায়োনেট ছাড়াও এতে থায়োসালফেট, সালফাইট, সালফাইড ও অন্যান্য পলিথায়োনেটগুলিও থাকে। সালফার মনোক্লোরাইডকে আর্দ্রবিশ্লেষিত করেও একই ধরণের তরল পাওয়া যায়।

12.26 পারক্সিসালফিউরিক অ্যাসিড ও তাদের লবণ

পুরোনো বৈজ্ঞানিক পত্রপত্রিকায় এদের পারসালফিউরিক অ্যাসিড ও তাদের লবণ বলে আখ্যাত করা হলেও বর্তমানের আধুনিক নামকরণ পদ্ধতিতে এদের পারক্সি সালফিউরিক অ্যাসিড ও তাদের লবণ বলা হয়। বর্তমানের অনুসৃত পদ্ধতিতে পারক্সি কথাটি ব্যবহার করা হয় সেইসব যৌগের ক্ষেত্রে যাদের মধ্যে—O—O—গ্রুপ আছে; এবং পার উপসর্গ কোনো মূলকের বা আয়নের কেন্দ্রীয় মৌলের জারণস্তরের উর্ধতন অবস্থা নির্দেশিত করতে ব্যবহৃত হয় এবং এ ক্ষেত্রে কোনো—O—O—গ্রুপ থাকে না। যেমন পারম্যাঙ্গানেট (MnO_4^-), পারক্লোরেট (ClO_4^-) ইত্যাদি।

পারক্সিসালফিউরিক অ্যাসিড দুধরণের হয়—পারক্সিমনো ও পারক্সিডাই সালফিউরিক অ্যাসিড। এদের প্রস্তুত করার পদ্ধতি নিচে দেওয়া হল :

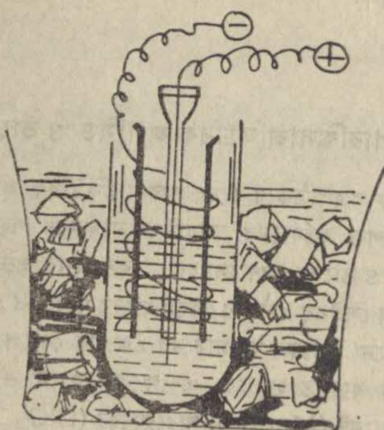
1. অ্যানোডীয় জারণ দ্বারা : সালফিউরিক অ্যাসিডের গাঢ় দ্রবণকে তড়িত বিশ্লেষণের সময় ফ্যারাডে দেখেন অ্যানোডে উৎপন্ন অক্সিজেনের পরিমাণ তত্ত্বীয় হিসাবের পরিমাণের চেয়ে কম হচ্ছে। এর কারণ হিসাবে অ্যানোড প্রক্রিয়াকে এইভাবে ব্যাখ্যা করা হয়েছিল :

$$2HSO_4^- \longrightarrow S_2O_8^{2-} + 2H^+ + 2e$$

এই পদ্ধতির সাহায্যে পারক্সি অ্যাসিড তৈরী করা যায়। সালফিউরিক অ্যাসিডের বদলে অ্যামোনিয়াম বা পটাশিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট ব্যবহার করলে সংশ্লিষ্ট লবণ পাওয়া যায়।

পারক্সি ডাইসালফিউরিক অ্যাসিড বা মার্শালের অ্যাসিড প্রস্তুতির জন্য একটা বড় শক্ত কাচের টেস্ট টিউবে সামান্য HCl মিশ্রিত 50 শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিড নেওয়া হয়। এই টিউবের সাথে একটি কাচের সিলিণ্ডার সংযুক্ত থাকে। এই কাচের সিলিণ্ডারের মধ্যে একটি কৈশিক নলের মধ্যে একটি প্লাটিনামের তার থাকে ; এই তারের প্রান্তভাগ কৈশিক নলের থেকে ঈষৎ বেরিয়ে থাকে। এটাই হল অ্যানোড। আর ক্যাথোড হল সিলিণ্ডারের গায়ে জড়িয়ে থাকা কপারের বা প্লাটিনামের তারের কুণ্ডলী। সমস্ত টেস্টটিউবটি একটি হিমগাহে বসানো থাকে। এর মধ্যে দিয়ে বিদ্যুৎপ্রবাহ চালিত করলে তড়িতঘনত্বের বিপুলতার জন্য অ্যানোডীয়

জারণের ফলে পারক্সিডাই সালফিউরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বদলে পটাশিয়াম বা অ্যামোনিয়াম সালফেটের সালফিউরিক অ্যাসিডের দ্রবণ ব্যবহার করলে অ্যানোডের চারপাশে কেলাসিত অ্যামোনিয়াম বা পটাশিয়াম পারক্সি ডাইসালফেট পাওয়া যায়।



চিত্র নং ২৫

পটাশিয়াম পারক্সিডাইসালফেটকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে বিচূর্ণন করে প্রায় 1 ঘণ্টা রেখে দেবার পর বরফে ঢাললে **পারমনো-সালফিউরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।** ক্যারো (1898) প্রথম এই অ্যাসিড তৈরী করেন বলে একে **ক্যারোর অ্যাসিড** বলা হয়।

$$K_2S_2O_8 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + H_2S_2O_8$$
$$H_2S_2O_8 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + H_2SO_5$$
$$\overline{K_2S_2O_8 + H_2O \rightarrow K_2SO_4 + H_2SO_5}$$

2. **হাইড্রোজেন পারক্সাইডের সাথে বিক্রিয়ায়** (ডি, আনস ও ফ্রিডরিশের পদ্ধতি): জলের সাহায্যে যেমন সাধারণ অক্সিঅ্যাসিডগুলি তৈরী করা সম্ভব, তেমনি সদৃশ বিক্রিয়ার মাধ্যমে হাইড্রোজেন পারক্সাইড পারক্সি অ্যাসিড তৈরী করতে ব্যবহার করা যায়। আর্দ্রবিশ্লেষণেরই অনুরূপ বিক্রিয়ার দ্বারা ক্লোরোসালফোনিক অ্যাসিডের সাথে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে পারক্সিমনো বা পারক্সিডাই সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করা যায়। বিক্রিয়াজাতকটি কি হবে তা নির্ভর করে বিক্রিয়কের পরিমাণের উপর।

$$HSO_3Cl + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_5 + HCl$$
$$2HSO_3Cl + H_2O_2 \rightarrow H_2S_2O_8 + 2HCl$$

ধর্ম ঃ পারক্সিডাইসালফিউরিক অ্যাসিড বর্ণহীন, জলাকর্ষীকেলাস, গলনাংক 65°। স্বাভাবিক উষ্ণতায় মোটামুটি স্থায়ী। পারক্সিমনোসালফিউরিক অ্যাসিডও কেলাসিত পদার্থ, গলনাংক 45°।

জলের সংস্পর্শে স্বাভাবিক তাপমাত্রায় সব পারক্সি অ্যাসিডই মৃদু আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে সাধারণ অক্সিঅ্যাসিড ও হাইড্রোজেন পারক্সাইড গঠন করে। তাপমাত্রা বাড়ার সাথে সাথে আর্দ্রবিশ্লেষণের হার বাড়ে। তৈরীর পর অ-জলীয় (non-aqueous) মাধ্যমে নিষ্কাশন করলে স্থায়িত্ব কিছুটা বাড়ে। পারক্সি অ্যাসিড ও তাদের লবণগুলি শক্তিশালী জারক।

$$2SO_4^{2-} \rightleftarrows S_2O_8^{2-} + 2e \qquad E^\circ_{298} = -2{\cdot}05 \text{ ভোল্ট}$$

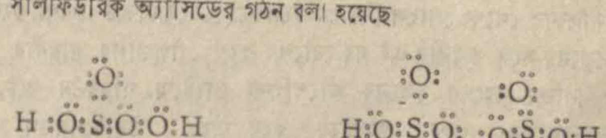
পারক্সিডাই সালফেট কৃত জারণক্রিয়ার মধ্যে উল্লেযোগ্য হল Mn^{2+} থেকে MnO_4^- এবং Ce^{3+} থেকে Ce^{4+} স্তরে জারণ।

কিন্তু হাইড্রোজেন পারক্সাইডের মত পারক্সি অ্যাসিডের কোনো বিজারণ ধর্ম নেই। এরা পারম্যাঙ্গানেট লবণকে বর্ণহীন করতে পারে না।

পারক্সিমনো ও পারক্সিডাই সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে একটি উল্লেখযোগ্য পার্থক্য হল প্রথমটি আয়োডাইড থেকে আয়োডিন তাৎক্ষণিক নির্মুক্ত করে, কিন্তু দ্বিতীয়টি করে অনেক ধীরে ধীরে।

ব্যবহার ঃ সাধারণতঃ জারক হিসাবে পারক্সিডাইসালফেট রসায়নাগারে ব্যবহার করা হয়। কিন্তু এদের জারণ-বিক্রিয়া Ag^+ আয়নের উপস্থিতি ছাড়া স্বাভাবিক উষ্ণতায় মন্থর। Ag^+ এখানে অনুঘটকের কাজ করে। অ্যামোনিয়াম পারক্সিসালফেট বিরঞ্জন ও ফোটোগ্রাফের নেগেটিভের পরিমাত্রা (Intensity in photograph negatives) কমাবার জন্য ব্যবহার হয়।

গঠন ঃ অ্যামোনিয়াম ও সিজিয়াম যৌগ অনুধাবন করে পারক্সিডাই সালফেটের গঠন সম্বন্ধে সুনিশ্চিত জানা গেছে। এই আয়নে দুটি SO_4 চতুস্তলক দুটি অক্সিজেন পরমাণু দ্বারা সংযুক্ত রয়েছে। S—O ও O—O যোজকদূরত্ব হল যথাক্রমে 1·50A ও 1·31A° এবং S—O—O যোজক কোণ 128°. এর থেকে পারক্সি ডাই-ও পারাক্সিমনো সালফিউরিক অ্যাসিডের গঠন বলা হয়েছে



পারক্সি মনো সালফিউরিক অ্যাসিড পারক্সিডাই সালফিউরিক অ্যাসিড

12.27 অক্সিজেন ও সালফারের তুলনা

পর্যায় সারণীর অন্তর্গত মৌলগুলি হল অক্সিজেন, সালফার, সেলেনিয়াম, টেলুরিয়াম ও পোলোনিয়াম। নিচে অক্সিজেন ও সালফারের বিভিন্ন ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য নিয়ে আলোচনা করা হল। [সেলেনিয়াম, টেলুরিয়াম ও পোলোনিয়াম পাঠ্যসূচীর অন্তর্গত না থাকায় এদের আলোচনা বাদ দেওয়া হল।] উভয় মৌলের কিছু কিছু ভৌত ধর্মের পরিচয় নীচে শ্রেণীবদ্ধ করা হল।

	অক্সিজেন	সালফার
1. পরমাণু ক্রমাংক	8	16
2. বহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস, ns^2np^4	$2s^2 2p^4$	$3s^2 3p^4$
3. বর্ণ	নীলাভ	হলুদ
4. ঘনত্ব (কঠিন অবস্থায়)	1·426	1·96—2·07
5. পারমাণবিক আয়তন	11·2	15·3
6. গলনাংক °C	−218·4	112·8
7. স্ফুটনাংক °C	−183	444·6

পর্যায় সারণীর এই গ্রুপের মৌলগুলির মধ্যে অক্সিজেন নিজে গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলির থেকে ধর্মে ও চরিত্রে লক্ষ্যণীয় ভাবে স্বতন্ত্র। অন্যান্য মৌলগুলির ক্ষেত্রে সালফার থেকে পোলোনিয়ামে ধর্মের পরিবর্তনের একটা ক্রমিকতা লক্ষ্য করা যায়।

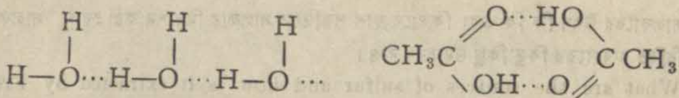
এই দুই মৌলই (অক্সিজেন ও সালফার) লোথার মায়ারের পারমাণবিক আয়তনিক রেখাচিত্রের ক্রমোচ্চ অংশে স্থিত। এই অংশে এদের অবস্থান এদের অধাতু চরিত্র, দ্রুত গলনশীলতা ও উদ্বায়ী ধর্মের সঙ্গে সংগতিপূর্ণ।

অক্সিজেন ও সালফার উভয়ের ক্ষেত্রেই বহুরূপতা দেখা যায়। ওজোন অক্সিজেনের একটি রূপভেদ; সালফারের একাধিক রূপভেদের কথা জানা আছে।

অক্সিজেন গ্রুপের প্রথম মৌল হবার জন্য অন্যান্য মৌল থেকে অনেকাংশে স্বতন্ত্র। পারস্পরিক পার্থক্যের কারণ নিম্নোক্ত তথ্যগুলি থেকে বোঝা যায়।

1. সালফার থেকে পোলোনিয়ামে ইলেকট্রোনেগেটিভিটি ক্রমশঃ কমে যাওয়ার জন্য অক্সিজেনের সঙ্গে তুলনীয় এই সব মৌলের সদৃশ যৌগগুলির আয়নীয় চরিত্র হ্রাস পায় এবং বিভিন্ন ধরণের বন্ধনের আপেক্ষিক স্থায়িত্বে পরিবর্তন ঘটে, বিশেষতঃ হাইড্রোজেন-বন্ধনের গুরুত্ব দ্রুতভাবে কমে যায়। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে (i) অক্সিজেনের যৌগগুলি প্রায়শঃই সংবদ্ধ (associated) কিন্তু সালফারের সদৃশ যৌগগুলি নয়। তাই উচ্চতর আণবিক ওজন পাওয়া গেলেও সালফার হাইড্রোজেন যৌগগুলি সদৃশ অক্সিজেন যৌগের তুলনায় অধিকতর উদ্বায়ী।

জল, অ্যালকোহল বা অ্যাসেটিক অ্যাসিডে অক্সিজেন পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় থাকায় এবং হাইড্রোজেন বন্ধন সৃষ্টির উপযুক্ত অনুকূল অবস্থার জন্য এই সব যৌগের অনুগুলি সংবদ্ধ থাকে। ফলে এদের স্ফুটনাংকের মান, আপেক্ষিক তাপ, বিগলন ও বাষ্পায়নের লীন তাপের মান উচ্চতর হয়।



জল অ্যাসেটিক অ্যাসিড

(ii) অক্সিজেন ক্লোরিন যৌগগুলি অত্যন্ত ক্ষণস্থায়ী ও প্রচণ্ড বিস্ফোরণশীল। জল বা ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় এরা যথাক্রমে অ্যাসিড ও লবণ উৎপাদন করে। পক্ষান্তরে সালফার ক্লোরিন যৌগগুলি যদিও তাপ-বিয়োজনশীল, তবুও তারা বিস্ফোরকধর্মী নয় এবং আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও সালফার উৎপন্ন করে।

(iii) সালফার ও অক্সিজেনের হাইড্রোজেনের সাথে গঠিত যৌগগুলির মধ্যে সালফার-হাইড্রোজেন যৌগগুলি বেশী আম্লিক। যেমন H_2O প্রশম অণু কিন্তু H_2S আম্লিক।

2. অক্সিজেনের ক্ষেত্রে কো-অর্ডিনেশন সংখ্যা সর্বোচ্চ 4 হলেও সালফারের ক্ষেত্রে 6 হতে পারে। ক্ষারকীয় বেরিলিয়াম অ্যাসেটেট $Be_4O(COOCH_3)_3$ অক্সিজেনের সহযোজ্যতা 4 ; সালফারের সহযোজ্যতা SF_6 যৌগে 6.

3. সালফারের আর একটি উল্লেখযোগ্য ধর্ম হল এর ক্যাটেনেশন (Catenation)। পলিসালফাইড আয়ন S_n^{2-}, সালফান XS_nX (X=হ্যালোজেন, $-CN$. বা NR_2) ও পলিসালফোনিক অ্যাসিডে $HO_3SS_nSO_3H$, একটি সালফার অ্যাটম আর একটির সাথে যুক্ত হয়ে আছে। [একই মৌলের পরমাণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে যে ধর্মের সাহায্যে গ্রথিত হতে পারে সেই ধর্মকে "ক্যাটেনেশন" বলে] সালফার ছা 1 অন্য কোনো চ্যালকোজেনের (সালফার, সেলেনিয়াম ও টেলুরিয়ামকে একত্রে চ্যালকোজেন বলে) এই গুণ নেই। মৌল অবস্থায় সালফার অণু আটটি পরমাণু-সম্পন্ন একটি শৃংখল গঠন করে কিন্তু অক্সিজেনের ক্ষেত্রে ওজোন ছাড়া S_8-এর সদৃশ কোনো কিছু নেই যার সাথে S_8 এর তুলনা করা যেতে পারে।

এ সত্ত্বেও সালফার ও অক্সিজেনের একই গ্রুপে শ্রেণীবদ্ধ করার পিছনে যুক্তি হল—(1) উভয়ের ক্ষেত্রেই বহিঃস্থ কক্ষে ইলেকট্রন সংখ্যা সমান—অর্থাৎ 6টি। (2) কিছু কিছু অক্সাইড ও অক্সি অ্যাসিডে যৌগের গাঠনিক চরিত্রের মূলগত পরিবর্তন না করেও সালফার অক্সিজেনকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। যেমন CS_2 ও CO_2 Na_2CO_3 ও Na_2CS_3, SnS_2 ও $S\ O_2$ ইত্যাদি।

প্রশ্নাবলী

1. সালফারের বহুরূপতা সম্বন্ধে আলোচনা কর।
Discuss the phenomenon of allotropy with special reference to sulfur.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.3 দেখ]

2. সালফারের উৎস কি কি এবং কিভাবে ফ্রাশ পদ্ধতিতে সালফার নিষ্কাশন করা হয়? সালফারের বিভিন্ন ব্যবহারের কিছু কিছু উদাহরণ দাও।
What are the sources of sulfur and how is it extracted by Frasch process? State some of its uses.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.1b, 12.2 ও 12.4b দেখ]

3. সালফারের কি কি হাইড্রাইড জানা আছে? কিভাবে হাইড্রোজেন সালফাইড সংগ্রহ ও বিশুদ্ধ করা যায়? কি ভাবে প্রমাণ করা যায় যে জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড (ক) একটি বিজারক (খ) একটি দ্বি ক্ষারীয় অ্যাসিড। বৈশ্লেষিক বিকারক হিসাবে এর ব্যবহার সম্বন্ধে আলোচনা কর।
How many hydrides of sulfur are known? How would you collect and purify a specimen of hydrogen sulfide? How would you show that in aqueous solution it is (a) a reducing agent (b) a weak dibasic acid. Discuss the usefulness of it as analytical reagent.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.5a, 12.9, 12.5b, ও 12.6 ও 12.7 দেখ]

4. (ক) থায়োনিল ক্লোরাইড (খ) সালফিউরিল ক্লোরাইড (গ) সালফার মনোক্লোরাইড (ঘ) ক্লোরো সালফোনিক অ্যাসিড (ঙ) সালফার হেক্সাফ্লোরাইডের প্রস্তুতি লেখ। তাদের ধর্ম ও জলের সাথে তাদের বিক্রিয়া সম্বন্ধে লেখ।
Give the preparation of (i) thionyl chloride (ii) sulphuryl chloride (iii) sulfur monochloride (iv) chlorosulforic acid and (v) sulfur hexafluoride. State their properties and reactions with water.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.10, 12.11, ও 12.12 দেখ]

5. পারক্সি মনো ও পারক্সিডাই সালফিউরিক অ্যাসিড কি? এদের প্রস্তুতি, ধর্ম ও গঠন সম্বন্ধে আলোচনা কর।
What are peroxy mono and peroxy disulfuric acids? Give an account of their preparation and properties and discuss their structures.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.26 দেখ]

6. কিভাবে থায়োসালফিউরিক অ্যাসিড তৈরী করা হয় এবং অ্যাসিড, আয়োডিন, সিলভার ক্লোরাইড ও কপার সালফেটের সাথে এর কি বিক্রিয়া ঘটে? এর গঠন কি?
How is sodium thiosulfate prepared? What is its behaviour with acids, iodine, silver chloride and copper sulphate? What is its structure.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.24 দেখ]

7. সোডিয়াম ডাই থায়োনাইট কি ভাবে প্রস্তুত করা হয়। এর ধর্ম ও গঠন সম্বন্ধে লেখ।
How is the sodium dithionite prepared? Discuss its properties and constitutions.

[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.17 দেখ]

8. টীকা লেখ : (ক) পলিথায়োনিক অ্যাসিড (খ) ওয়াকেনরোডার দ্রবণ (গ) ডাইথায়োনিক অ্যাসিড।
Write notes on :

(a) Polythionic acids (b) Wackenroder solution (c) dithionic acids

[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.25 দেখ]

9. অক্সিজেন ও সালফারের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের তুলনা কর। কেন তাদের উভয়কেই একই বিভাগের মধ্যে অন্তর্গত করা হয়েছে। সালফারের পারমাণবিক ওজন অক্সিজেনের চেয়ে বেশী হওয়া সত্বেও H_2S গ্যাসীয় পদার্থ কিন্তু H_2O তরল পদার্থ কেন?
Compare the physical and chemical properties of oxygen and sulfur. Why are they included in the same group? Explain why H_2S is a gas but H_2O is a liquid, although atomic wt of sulfur is greater than that of oxygen.

[সংকেত : অনুচ্ছেদ 12.27 দেখ]

ত্রয়োদশ অধ্যায়

হ্যালোজেন পরিবার
(Ths halogen family)

13.1 তুলনামূলক আলোচনা: পর্যায় সারণীর VIIb গ্রুপের অন্তর্গত ক্লোরিন ব্রোমিন, আয়োডিন ও অ্যাস্টাটিন মৌলগুলিকে একত্রে হ্যালোজেন মৌল বলা হয়। "হ্যালোজেন" একটি গ্রীক শব্দ, এর অর্থ হ'ল সামুদ্রিক লবণ প্রস্তুতকারী [Hals = Sea salt, genas = to produce]। সমুদ্রজলকে বাষ্পীভূত করে যে লবণগুলি পাওয়া যায় তাদের মধ্যে ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিন-জাত লবণ প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায় বলে 1825 খৃষ্টাব্দে বার্জেলিয়াস এই নামকরণ করেন। এই মৌলগুলির পরস্পরের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মে নিবিড় সম্বন্ধ থাকায় এই মৌলগুলিকে একত্রে একটি পরিবার—হ্যালোজেন পরিবারের অন্তর্গত বলে ধরা হয়।

এই সব মৌলগুলি প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। এদের মধ্যে অ্যাস্টাটিন তেজস্ক্রিয়তার জন্য অত্যন্ত ক্ষণস্থায়ী ও অত্যন্ত সামান্য পরিমাণে পাওয়া যায়। অ্যাস্টাটিনের ক্ষণস্থায়ী 215, 216 এবং 218 ভরবিশিষ্ট আইসোটোপের সৃষ্টি হয় AcA, ThA, ও RaA ক্ষয়শৃংখলের অন্তর্গত বিশেষ স্তরে বিটা-কনার নিঃসরণ বা ক্ষয় থেকে। অ্যাস্টাটিন ছাড়া অন্য হ্যালোজেন মৌলগুলির বিভিন্ন ভৌতধর্মের পরিচয় নীচে দেওয়া হল:

ধর্ম	ফ্লোরিন	ক্লোরিন	ব্রোমিন	আয়োডিন
1. পরমাণু-ক্রমাংক	9	17	35	53
2. বহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস (ns^2np^5)	$2s^22p^5$	$3s^23p^5$	$4s^24p^5$	$5s^25p^5$
3. বর্ণ ও প্রকৃতি (15° তাপাংকে)	হাল্কা হলুদ গ্যাস	সবুজাভ হলুদ গ্যাস	গাঢ় লাল তরল লাল বাষ্প (উচ্চতর তাপে)	কালো কেলাস বেগুনী বাষ্প (উচ্চতর তাপে)
4. গলনাংক °C	−223	−102	−7	114
5 স্ফুটনাংক °C	−187	−34	59	184
6. তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব	1·11	1·55	3·19	4·9 (কঠিন)
7. জলে দ্রবণীয়তা 0° তাপমাত্রায় গ্রাম/লিটার	বিক্রিয়া ঘটে	14·6	41·5	0·162
8 পরমাণু ব্যাসার্দ্ধ °A	0·72	0·99	1·14	1·33
9. আয়ন ব্যাসার্দ্ধ °A	1·36	1·81	1·95	2·16
10. ইলেকট্রন অ্যাফিনিটি ev	4·13	3·75	3·52	3·2
11. আয়নন বিভব ev	17·4	13·0	11·8	10·4

ধর্ম	ফ্লোরিণ	ক্লোরিণ	ব্রোমিন	আয়োডিন
12. ইলেকট্রোনেগেটিভিটি	4·0	3·0	2·8	2·5
13. বিয়োজনীয় তাপ কি. ক্যালোরি/মোল (Heat of dissociation)	38	54	46	36
14 আয়নের হাইড্রেশন শক্তি কি. ক্যালোরি/গ্রাম আয়ন	122	89	81	72
15. $X^- \rightleftarrows \frac{1}{2}X_2 + e^-$ বিক্রিয়ায় E°-এর মান, ভোল্ট	−2·85	−1·36	−1·07	−0·53

উপরোক্ত ভৌতধর্মগুলি বিশ্লেষণ করলে দেখা যাবে হ্যালোজেন মৌলগুলির পারমাণবিক ওজন বাড়ার সংগে সংগে ভৌতধর্মগুলিরও ক্রমিক পরিবর্তন হচ্ছে। পারমাণবিক ওজন বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে এদের স্ফুটনাংক, গলনাংক ইত্যাদি বেড়ে চলে, বর্ণ গাঢ় থেকে গাঢ়তর হয় ও সমষ্টিগত অবস্থা (State of aggregation) গ্যাস থেকে কঠিন পদার্থে রূপান্তরিত হয়ে ওঠে। যেমন ফ্লোরিন হাল্কা হলুদ গ্যাস, ক্লোরিন সবুজাভ হলুদ গ্যাস, ব্রোমিন লাল তরল এবং আয়োডিন ঘন কালো কেলাস।

হ্যালোজেন মৌলগুলি অধাতু ও এদের তড়িত-নিরপেক্ষ পরমাণুর নিজেদের প্রতি ইলেকট্রন আকর্ষণের শক্তি বা প্রবণতা অর্থাৎ ইলেকট্রোনেগেটিভিটি খুব বেশী। ক্লোরিন থেকে সুরু করে আয়োডিন পর্যন্ত মৌলের পারমাণবিক ওজন বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ধনাত্মক তড়িত চরিত্র (Electropositive Character) ক্রমশঃ বাড়তে থাকে এবং হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়া করার সক্রিয়তা হ্রাস পেতে থাকে।

হ্যালোজেন পরমাণুতে সর্বাপেক্ষা বহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা নিস্ক্রিয় গ্যাসের উক্ত কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা থেকে মাত্র একটি কম ; সুতরাং অতি সহজেই নিস্ক্রিয় গ্যাসের বহিঃস্থ কক্ষের মত ইলেকট্রন বিন্যাস রচিত হবার প্রবণতা খুবই স্বাভাবিক। তড়িত নিরপেক্ষ মৌলের ইলেকট্রন গ্রহণ প্রবণতা ও ঐ (তড়িত নিরপেক্ষ) মৌলে ইলেকট্রন যোগে মুক্তিপ্রাপ্ত শক্তির বিপুলতা থেকে হ্যালোজেন মৌল যে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে নেগেটিভ চার্জযুক্ত হ্যালাইড আয়নে পরিণত হবে—সে সম্ভাব্যতা অনুমান করা যায়। অনুরূপভাবে, দ্বিপারমাণবিক হ্যালোজেন মৌলের অণু গঠনে প্রয়োজনীয় তাপশক্তির বিপুল মান, সুতুঙ্গ তাপাংকেও মৌলের বিয়োজনে লক্ষ্যণীয় অনীহা, একই প্রকার হ্যালোজেন মৌলের মধ্যে একই ইলেকট্রনযুগল সমব্যবহারে (Sharing) সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি—এই সব কারণগুলিও এদের ক্ষেত্রে নিস্ক্রিয় গ্যাসের বহিঃস্থ কক্ষের মত ইলেকট্রন বিন্যাস গঠন করার পথ সুগম করে। অবশ্য হ্যালোজেন পরমাণুর আকার বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রনের প্রতি আকর্ষণ প্রবণতা কমবার জন্য এই সব আচরণ ক্রমশঃ কমতে থাকে। এ তথ্য ইলেকট্রন অ্যাফিনিটি ও ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির মানের হ্রাস পাওয়া ও $X^- \rightleftarrows \frac{1}{2}X_2 + e$ রেডক্স বিক্রিয়ার প্রমাণ (Standard) জারণ-বিভবের মানের থেকে সমর্থিত হয়।

ক্লোরিণ একটি প্রচণ্ড শক্তিশালী জারক। ক্লোরিণের জারণ ক্ষমতার এই তীব্রতার কারণগুলি নিচে দেওয়া হল।

1. ক্লোরিণের তড়িতনিরপেক্ষ মৌলে ইলেকট্রন গ্রহণ করে ঋণাত্মক ক্লোরাইড আয়ন গঠন করতে সামান্যমাত্র শক্তি ব্যয় হয়; অর্থাৎ এর ইলেকট্রন অ্যাফিনিটি খুব বেশী।

2. সমস্ত মৌলের মধ্যে ক্লোরিণের তড়িতনিরপেক্ষ মৌলের ইলেকট্রন আকর্ষণ করার প্রবণতা অর্থাৎ ইলেকট্রোনেগেটিভিটি সব চেয়ে বেশী।

3. হাইড্রেশন শক্তির নিম্নমান। [অর্থাৎ জলের অণু যুক্ত হয়ে দ্রাবকায়িত হবার ফলে মুক্তিপ্রাপ্ত শক্তির নিম্নমান।]

4. F – F যোজনার জন্য ব্যয়িত শক্তির পরিমাণ স্বল্পতা।

5. ক্লোরিণ পরমাণুর আবরণী ধ্রুবকের (Screening Constant) নিম্নতম মান।

ক্রমবর্ধমান ইলেকট্রোপজিটিভ চরিত্রের সঙ্গে সঙ্গে ক্লোরিণ থেকে আয়োডিনে ধারাবাহিকভাবে হ্যালোজেনগুলির জারণ ক্ষমতা কমতে থাকে। ক্লোরিণ থেকে ক্রমশঃ আয়োডিনে পরমাণুর স্থিতিশীলতা হ্রাস পেতে থাকে ও তাপে দ্বি-পারমাণবিক মৌলের বিযোজন (dissociation) ক্রমশঃ সহজতর হয়ে ওঠে। 1100° তাপাংকের উর্ধে ক্লোরিণ সামান্য পরিমাণে, ব্রোমিন শতকরা 6 ভাগ ও 1000° তাপাংকের উর্ধে আয়োডিন বিপুল পরিমাণে বিযোজিত হয়।

হ্যালোজেনের আয়নন-বিভব (Ionisation Potential) সাধারণতঃ উচ্চ মানের হলেও পরমাণু ক্রমাংক বাড়ার সাথে সাথে লক্ষ্যণীয়ভাবে তা কমতে থাকে। তাই অধিকতর ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌলের সমবায়ে পজিটিভ সমযোজী বন্ধন রচনা করার সম্ভাবনা উপেক্ষণীয় নয়। প্রকৃতপক্ষে ক্লোরিণ ছাড়া আর সব হ্যালোজেন মৌলগুলি এই ধরণের যোজক রচনা করতে পারে এবং +1, +3, +5 ও +7 পজিটিভ জারণ স্তরের যৌগ গঠন করে। যেহেতু ক্লোরিণের থেকে ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল আর নেই, তাই এমন কোন যৌগ গঠন সম্ভব নয় যেখানে ক্লোরিণ পজিটিভ জারণ স্তরে বর্তমান। এখানে উল্লেখ করা যেতে পারে যে হ্যালোজেন মৌলগুলির বহিঃস্থ কক্ষের 7টি ইলেকট্রনের মধ্যে 6টিই জোড়বদ্ধ থাকে বলে +1, +3, +5, +7 প্রভৃতি জারণস্তরে প্রতি ক্ষেত্রে দুই এককের পার্থক্য।

পিরিডিনের সাথে গঠিত নিচের জটিল যৌগগুলিতে হ্যালোজেনের ক্ষারীয় ধর্ম প্রকাশিত হয়েছে।

$[ClPyr_2]NO_3$	$[Br\ Pyr_2]ClO_4$	$[I\ Pry_2]NO_3$
	$[Br\ Pyr_2]NO_3$	$[I\ Pry]IO_3$
		$[I\ Pyr_2]ClO_4$
		$[I\ Pyr]OCOCH_3$
		$[I\ Pyr]OCOC_6H_5$

পরমাণুক্রমাংক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে হ্যালোজেনের মৌল থেকে মৌলান্তরে বিশোষণ ব্যাণ্ডের [Absorption band] তরঙ্গ দৈর্ঘের পরিবর্তন ঘটে (shift in wave length)। ফলে হ্যালেজেনের বর্ণের পরিবর্তন ঘটে। যে বিশোষণ ক্লোরিণের ক্ষেত্রে নীল আলোর সামান্য অংশ আত্মসাৎ করে [যার ফলে ক্লোরিণের হলদে রং দেখা যায়] তা' ক্রমশঃ দীর্ঘতর তরঙ্গদৈর্ঘের দিকে সরে যায় এবং শেষ পর্যন্ত আয়োডিনের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র লাল ও নীল আলো বেরিয়ে আসে, ফলে আয়োডিনে বেগনী রং দেখা যায়। যে দ্রাবকের ডাই-ইলেকট্রিক কন্‌সটান্টের মান কম [যেমন ক্লোরোফর্ম, কার্বন টেট্রাক্লোরাইড] তাতে আয়োডিন দ্রবীভূত করলে বেগনী রঙের দ্রবণ পাওয়া যায়। কিন্তু যার ওই মান বেশী [যেমন জল, অ্যালকোহল] তাতে বাদামী রঙের দ্রবণ পাওয়া যায়। এই বাদামী দ্রবণে আয়োডিনের পরমাণু দ্রাবকের সাথে সহযোজী বন্ধন রচনা করে; কিন্তু বেগনী রঙের দ্রবণে আয়োডিন মৌল হিসাবেই থাকে। আয়োডিনের বিক্রিয়া-ক্ষমতা বাদামী দ্রবণে অপেক্ষাকৃত বেশী।

হাইড্রোজেন ও ধাতুর সংগে হ্যালোজেনের বিক্রিয়া করবার আগ্রহ খুব বেশী। এই প্রবণতা পারমাণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে এক হ্যালোজেন থেকে অন্য হ্যালোজেনে ক্রমশঃ কমতে থাকে। সকল হ্যালোজেনের সৃষ্ট হাইড্রাসিডের সাধারণ সংকেত HX. অধিকাংশ ধাতু ও অধাতু সরাসরিভাবে হ্যালোজেনের সাথে বিশেষতঃ ফ্লোরিণের সাথে বিক্রিয়া করে এবং ফ্লোরিণের সাথে অধিকাংশ বিক্রিয়াই ভাস্বরতায় (Incandescence) সমৃদ্ধ। আয়োডিন ও ব্রোমিনের চেয়ে ক্লোরিণ অনেক সহজে ও ক্লোরিণ কিছুটা সীমিতভাবে ধাতু ও অধাতু উভয়কেই জারিত করতে পারে। ফসফোরাস ক্লোরিণ দ্বারা জারিত হয়ে PCl_5 ও আর্সেনিক ফ্লোরিণ দ্বারা জারিত হয়ে AsF_5 তৈরী করতে পারে। এ' ছাড়া সাল্‌ফারের সাথে বিভিন্ন হ্যালোজেনের যে সব যৌগ হয়ে থাকে তা' হচ্ছে—

ফ্লোরিণের সাথে—SF_6, SF_4, S_2F_2

ক্লোরিণের সাথে—SCl_4, SCl_2, S_2Cl_2

ব্রোমিনের সাথে—S_2Br_2

আয়োডিনের সাথে—S_2I_2[CCl_4 দ্রবণে S_2Cl_2-এর সাথে বিশুদ্ধ KI-এর বিক্রিয়ায় জাত]

ফ্লোরিণের আর এক বৈশিষ্ট্য SF_6, TeF_6 এবং OsF_8 প্রভৃতি পলিহ্যালাইড। ক্লোরিণের অনুরূপ কোনো যৌগ নেই।

ফ্লোরিণের ইলেকট্রোড পোটেনশিয়াল অজানা হলেও সম্ভবতঃ খুব বেশী, ক্লোরিণের +1·35 ভোল্ট, ব্রোমিনের +0·89 ভোল্ট ও আয়োডিনের +0·52 ভোল্ট। এর ফলে যার ইলেকট্রেড -পোটেনশিয়াল অপেক্ষাকৃত বেশী এমন কোনো হ্যালোজেন মৌল সহজেই যৌগস্থিত অন্য হ্যালোজেন মৌলকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। যেমন,

$$Cl_2 + 2HBr = 2HCl + Br_2$$

সকল হ্যালোজেনই জলের সঙ্গে কিছু পরিমাণে বিক্রিয়া করে এবং জলীয় দ্রবণে যে বিক্রিয়া ঘটে তা' হল :—

1. $2X_2+2H_2O \rightleftarrows 4H^+ + 4X^- + O_2$

2. $X_2+H_2O \rightleftarrows H^+X^- + HOX$ [X=হ্যালোজেন পরমাণু]

জলের সাথে ক্লোরিণের প্রচণ্ড বিক্রিয়ায় অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। অন্য হ্যালোজেন-গুলি দ্বিতীয় বিক্রিয়ানুযায়ী আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়। এই সব বিক্রিয়াগুলি বিশেষভাবে দ্রবণের pH-এর ওপর নির্ভরশীল। অ্যাসিড সহযোগে হাইপোহ্যালাইট হ্যালাইড থেকে হ্যালোজেন নির্মুক্ত করতে পারে। আবার ক্ষারের সঙ্গে হ্যালোজেনের বিক্রিয়ায় হ্যালাইট ও হাইপোহ্যালাইটের সৃষ্টি হয়। হাইপোহ্যালাইটের মধ্যে একমাত্র OI^- ছাড়া আর সবগুলিই ক্ষারের সান্নিধ্যে স্থায়ী থাকতে পারে।

$$X_2+2OH^- = OX^- + X^- + H_2O$$

কিন্তু হ্যালোজেনের পরিমাণ বেশী থাকলে হ্যালেট XO_3^- ও হ্যালাইড X^- আয়ন তৈরী হয়।

অক্সিজেনের সংগে বিভিন্ন যৌগগঠনে হ্যালোজেনের চরিত্রস্বাতন্ত্র্যের দিকটা বিশেষ-ভাবে স্পষ্ট হয়ে উঠেছে। ক্লোরিণ মনোক্সাইড স্থায়ী যৌগ, কিন্তু ক্লোরিণের সব অক্সাইড বিস্ফোরক, ব্রোমিনের অক্সাইডের চেয়ে কম স্থায়ী, আর আয়োডিন-অক্সিজেনের যৌগগুলির স্থায়িত্ব মোটামুটি।

অক্সিজেনের জন্য আয়োডিনের ব্যাপকতর প্রবণতার অন্যতম নিদর্শন হল নাইট্রিক অ্যাসিড দ্বারা আয়োডিন থেকে জারণের ফলে আয়েডিক অ্যাসিডের সৃষ্টি। আর একটি উল্লেখ্য নিদর্শন পটাশিয়াম ক্লোরেট থেকে আয়োডিন দ্বারা ক্লোরিণের প্রতিস্থাপন।

$$2KClO_3+I_2=2KIO_3+Cl_2$$

সমস্ত হ্যালোজেনের মধ্যে একমাত্র ক্লোরিণ কোনো অক্সি-অ্যাসিড গঠন করে না। এর কারণ অক্সি-অ্যাসিড ও তার লবণগুলিতে অক্সিজেনের তুলনায় অন্য হ্যালোজেনগুলি অধিকতর ইলেকট্রোনেগেটিভ। কিন্তু ক্লোরিণ অক্সিজেন অপেক্ষাও অধিকতর ইলেকট্রোনেগেটিভ হবার ফলে ক্লোরিণের সাথে এ ধরনের যৌগ সম্ভবপর নয়। এই সব যৌগে ক্লোরিণ, ব্রোমিন ও আয়োডিনের জারণাংক (Oxidation number) +1, +3, +5, ও +7 প্রভৃতি বিভিন্ন প্রকারের হতে পারে। সর্বাপেক্ষা বেশী অক্সিজেনযুক্ত অক্সি অ্যাসিডের মধ্যে ক্লোরিণের $HClO_4$, ব্রোমিনের $HBrO_3$ ও আয়োডিনের H_5IO_6 উল্লেখযোগ্য। এদের মধ্যে পারক্লোরিক ও পারআয়োডিক অ্যাসিড বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়, কিন্তু অন্যগুলির অস্তিত্ব জানা আছে একমাত্র দ্রবণে বা তাদের সৃষ্ট কোন রাসায়নিক লবণে।

জারণাংক +4 থেকে +7-এ পরিবর্তন হবার সাথে সাথে যৌগগুলির (1) তাপ-স্থায়িত্ব (Thermal stability) বাড়ে অর্থাৎ অক্সিজেনের পরমাণুসংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে অণুর স্থায়িত্ব বাড়ে। (2) জারণক্ষমতা ক্রমশঃ কমে (3) অ্যাসিডের

শক্তি (acid strength) বাড়ে। কিন্তু এখানে উল্লেখযোগ্য যে পারআয়োডিক অ্যাসিডে অক্সিজেনের সংখ্যা বাড়লেও আয়োডিক অ্যাসিডের চেয়ে পারআয়োডিক অ্যাসিড উৎকৃষ্টতর জারক।

হাইপোহ্যালাস্ অ্যাসিডগুলির [HOX] অস্তিত্ব একমাত্র তাদের জলীয় দ্রবণেই জানা আছে। এগুলি অস্থায়ী ও দুর্বল অ্যাসিড [pKa~8] এবং এদের স্থায়িত্ব ও অ্যাসিড শক্তি ক্লোরিণ থেকে আয়োডিনে ক্রমশঃ কমতে থাকে। অ্যাসিড হিসাবে HOI অত্যন্ত দুর্বল ও কিছুটা অ্যামফোটারিক বা উভধর্মী। হাইপোহ্যালাস্ অ্যাসিড-গুলিকে হাইপোহ্যালাইটের সাথে অ্যাসেটিক বা কার্বনিক অ্যাসিডের মত দুর্বল অ্যাসিড দিয়েও প্রতিস্থাপিত করা যায়। এই সব হাইপোহ্যালাস অ্যাসিড তৈরী করা যায় জলে সূক্ষ্ম কণারূপে ভাসমান HgO-এর সাথে সংশ্লিষ্ট হ্যালোজেনের বিক্রিয়ায়।

$$2HgO + H_2O + 2X_2 = HgX_2.HgO + 2HOX$$

হাইপোহ্যালাইটকে উত্তপ্ত করলে হ্যালেট পাওয়া যায়।

$$3OX^- = XO_3^- + 2X^-$$

হ্যালেট গঠনের ক্ষেত্রে অতিরিক্ত হ্যালোজেনের উপস্থিতি যেমন বিশেষ অনুকূল তেমনই অতিরিক্ত ক্ষারের উপস্থিতি এর প্রতিকূল অবস্থার সৃষ্টি করে। ক্ষারের পরিমাণ বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে হ্যালেট গঠিত হবার প্রবণতা কমে যায়। হাইপোক্লোরাইট, বা হাইপোব্রোমাইট থেকে ক্লোরেট বা ব্রোমেট হবার চেয়ে হাইপোআয়োডাইটের পক্ষে আয়োডেটে পরিণত হওয়া তুলনামূলকভাবে অনেক সহজ। হ্যালাস অ্যাসিডের মধ্যে একমাত্র ক্লোরাস অ্যাসিডের [$HClO_2$] কথা জানা আছে; তাও দ্রবণে।

ক্লোরিক বা ব্রোমিক অ্যাসিডের অস্তিত্বের কথা একমাত্র জলীয় দ্রবণে জানা থাকলেও ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড দিয়ে আয়োডিনকে জারিত করলে বর্ণহীন আয়োডিক অ্যাসিডের কেলাস পাওয়া যায়। একক্ষারীয় হলেও আয়োডিক অ্যাসিড প্রশম ও অ্যাসিড—দু'প্রকারেরই লবণ গঠন করে যেমন KIO_3 ও $KH(IO_3)_2$। এছাড়া মলিবডিক, টাংস্টিক ও ফসফোরিক অ্যাসিডের সাথেও আয়োডিক অ্যাসিড বিভিন্ন জটিল যৌগ গঠন করে।

পার-অ্যাসিডের মধ্যে একমাত্র পারক্লোরিক ও পারআয়োডিক অ্যাসিডের কথা জানা আছে। পারব্রোমিক অ্যাসিড বা তাদের কোনো লবণের কথা জানা নেই। সকল অ্যাসিডের মধ্যে পারক্লোরিক অ্যাসিড সবচেয়ে শক্তিশালী [pKa~11] ও ক্লোরিণের সব অক্সি-অ্যাসিডের মধ্যে সবচেয়ে স্থায়ী। পারক্লোরেট আয়ন ClO_4^- চতুস্তলক। জ্ঞাত তিনটি পার আয়োডিক অ্যাসিড HIO_4, $H_4I_2O_9$ ও H_5I_6 এর মধ্যে IO_4^- আয়ন চতুস্তলক, ও IO_6^{5-} আয়ন অষ্টতলক। পারআয়োডিক অ্যাসিডগুলি একই সঙ্গে তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র জারক।

উল্লিখিত যৌগগুলি ছাড়াও নিজেদের মধ্যে তড়িত-রাসায়নিক ধর্মের পার্থক্যের জন্য হ্যালোজেনগুলি পরস্পরের সঙ্গে যৌগ গঠন করতে পারে। এদের আন্ত-

হ্যালোজেন যৌগ বলা হয়। সরাসরিভাবে নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়ে এদের তৈরী করা যায়।

হ্যালাইড আয়ন দ্রবণে বা কেলাসে অন্য হ্যালোজেনের সাথে বিক্রিয়া করে পলি হ্যালাইড তৈরী করতে পারে। এর একটা দৃষ্টান্ত হল—

$$KI+I_2 \rightleftarrows KI_3$$

13.2 হ্যালোজেন হাইড্রাসিডঃ হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়ায় সকল হ্যালোজেনই HX ধরনের গ্যাসীয় হাইড্রাসিড তৈরী করে। সমস্ত হ্যালোজেন হাইড্রাসিডের মধ্যে HF সর্বাপেক্ষা স্থায়ী, আর্দ্র বাতাসে ধূমায়মান এবং 19·5° তাপাংকের নীচে তরল। অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে বহুল পরিমাণে হাইড্রোজেন-বন্ধন দিয়ে সংবদ্ধ (associated) থাকায় স্ফুটনাংকের মান অস্বাভাবিক বেশী হয়। গাঢ় দ্রবণে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড সাধাণতঃ H_2F_2 হিসাবে সংবদ্ধ এবং অসম্পূর্ণ আয়ননের জন্য এককক্ষারীক অ্যাসিড F[FHF] এবং এর সংশ্লিষ্ট অ্যাসিড লবণ KHF_2 পাওয়া যায়।

হাইড্রোজেনের সাথে হ্যালোজেনের হ্যালোজেন হাইড্রাসিড গঠনে প্রয়োজনীয় সংঘটন তাপ (Heat of formation) ক্রমশঃ ফ্লোরিণ থেকে আয়োডিনে ধারাবাহিক ভাবে কমতে থাকে। এই তথ্য ফ্লোরিণ থেকে আয়োডিনে ক্রমশঃ হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়ার প্রবণতা হ্রাসের ইংগিতই বহন করে। 20° তাপাংকে HF, HCl, HBr ও HI অ্যাসিডের গ্রাম অণু প্রতি সংঘটন তাপ যথাক্রমে 61·4, 21·9, 7·3 ও, 1·32 কিলো ক্যালোরি। HI অ্যাসিড এই গোষ্ঠীর মধ্যে সবচেয়ে কম স্থায়ী। ফ্লোরিণ হাইড্রোজেনের সাথে অন্ধকারে, ক্লোরিণ সূর্যালোকে, ব্রোমিন উত্তাপের প্রভাবে ও আয়োডিন উত্তাপ ও প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া করে। আয়োডিনের সাথে বিক্রিয়াটি উভমুখী। $H_2+I_2 \rightleftarrows 2HI$. সমমাত্রার (Equal Concentration) HCl, HBr, HI ও HF-এর জলীয় দ্রবণের মধ্যে HF দ্রবণ সবচেয়ে দুর্বল অ্যাসিড।

হ্যালোজেন হাইড্রাসিডগুলির হ্যালোজেনের পরমাণুক্রমাংক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে জারিত হবার ক্ষমতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়। হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড কোনো জারকে জারিত হয় না, কিন্তু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট, নাইট্রিক অ্যাসিড ও ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড দ্বারা জারিত হয়ে ক্লোরিণ তৈরী করে। ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড হাইড্রোব্রোমিক ও হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডকে জারিত করে। গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড হাইড্রোব্রোমিক ও হাইড্রাআয়োডিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করলেও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাথে করে না। হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও ক্লোরিণ হাইড্রোব্রোমিক ও হাইড্রাআয়োডিক অ্যাসিডকে জারিত করে। হাইড্রাআয়োডিক অ্যাসিড এত দ্রুত ও সহজেই জারিত হয় যে প্রায়শঃই একে বিজারক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। কিউপ্রিক, ফেরিক লবণ ও নাইট্রাস অ্যাসিডও এর সাথে বিক্রিয়া ঘটায়।

এই প্রসংগে উল্লেখযোগ্য যে বিভিন্ন ধাতব ফ্লোরাইড ঐ ধাতুর অন্য সব হ্যালাইডের থেকে ধর্মে ও আচরণে কিছুটা স্বতন্ত্র। CaF_2 জলে অদ্রবণীয়, কিন্তু অন্য ক্যালসিয়াম হ্যালাইডগুলি জলে দ্রবণীয়। সিলভার ফ্লোরাইড ছাড়া অন্য সিলভার হ্যালাইডগুলি আবার জলে দ্রবীভূত হয় না। মারকিউরিক ফ্লোরাইড জলে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়। HF-এর সাথে অন্যান্য হাইড্রোজেন হ্যালাইডের পার্থক্য হল HF, HBF_4, H_2SiF_6 প্রভৃতি জটিল যৌগ গঠন করতে পারে ; অন্যেরা তা পারে না।

হ্যালোজেন হাইড্রাসিড তৈরী করার সাধারণ পদ্ধতি

1. উপাদানগুলির মধ্যে সরাসরি বিক্রিয়া ঘটিয়ে
   $Cl_2 + H_2 = 2HCl$
2. হ্যালাইডের সাথে অ্যাসিডের বিক্রিয়ার দ্বারা
   $CaF_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2HF$
   $NaCl + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HCl$
3. হ্যালাইডের আর্দ্রবিশ্লেষণ করে,
   $PBr_3 + 3H_2O = H_3PO_4 + 3HBr.$

4. মৌল হ্যালোজেনের জলীয় দ্রবণের সাথে H_2S-এর মত কোনো হাইড্রোজেন সমন্বিত যৌগের বিক্রিয়া ঘটিয়ে

$I_2 + H_2S\ aq = 2HI\ aq + S + 17{\cdot}5$ কিলো ক্যালোরি।

ফ্লোরিণ

[আণবিক সংকেত F_2, পরমাণবিক গুরুত্ব 19·00, পরমাণু ক্রমাংক 9, যোজ্যতা 1]

13·3a অবস্থান বা প্রাপ্তি (occurrence)

রাসায়নিক সক্রিয়তার জন্য মৌল অবস্থায় ফ্লোরিণ পাওয়া যায় না, ফ্লোরিণের প্রধান খনিজ হল ফ্লোরস্পার CaF_2, ক্রায়োলাইট Na_3AlF_6 ফ্লোর এ্যাপেটাইট CaF_2, ও $Ca_3(PO_4)_2$। দাঁতের এনামেলে 0·3 শতাংশ ফ্লোরিণ থাকে।

13.36 নিষ্কাশনের ইতিহাস

1771 খৃষ্টাব্দে শীল ফ্লোরস্পারকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সাথে উত্তপ্ত করে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড পান। তখন থেকেই কাচ খোদাই-এর কাজে এর ব্যবহার চলে আসছে। 1813 খৃষ্টাব্দে ডেভি হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাথে এর সাদৃশ্য প্রমাণ করে অনুমান করেন এটা হাইড্রোজেন আর ক্লোরিণের মত ধর্মবিশিষ্ট অনাবিষ্কৃত কোন মৌল দিয়ে গঠিত। এই মৌলের তিনি নাম দেন ফ্লোরিণ। তারপর থেকে ডেভি, ফ্রেমি. গোরে প্রমুখ বিজ্ঞানীদের এই মৌলকে যোগ থেকে

নির্মুক্ত করে মুক্ত মৌল হিসাবে পাবার সব চেষ্টাই একে একে একে ব্যর্থ হয়েছিল। মুক্ত মৌল পাবার পথে যে বাধাগুলি ছিল, তা হল—

1. হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ তড়িৎবিশ্লেষণে ওজোনিত অক্সিজেন ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে—ফ্লোরিণ পাওয়া যায় না। কারণ ফ্লোরিণ জলের সাথে বিক্রিয়া ঘটায়।

$2H_2O+2F_2=4HF+O_2$; $3H_2O+3F_2=6HF+O_3$ আবার অনার্দ্র হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড বিদ্যুতের অপরিবাহী।

2. ফ্লোরিণ ও হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের তীব্র বিষাক্ততা।

3. ফ্লোরিণ কাচ, কার্বন, প্লাটিনাম প্রভৃতি পদার্থের সাথে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটাবার ফলে তড়িতবিশ্লেষণ করার মত উপযুক্ত পাত্রের অভাব এবং সর্বশেষ

4. অত্যাধিক উদ্বায়ী হবার জন্য (স্ফুটনাংক 19·5) তড়িতবিশ্লেষণ নিম্ন তাপাংকে করা প্রয়োজন। কিন্তু এই নিম্নতাপাংক সৃষ্টি করার মত উপযুক্ত হিমায়ক বা শীতক (Refrigerant) তখন জানা ছিল না।

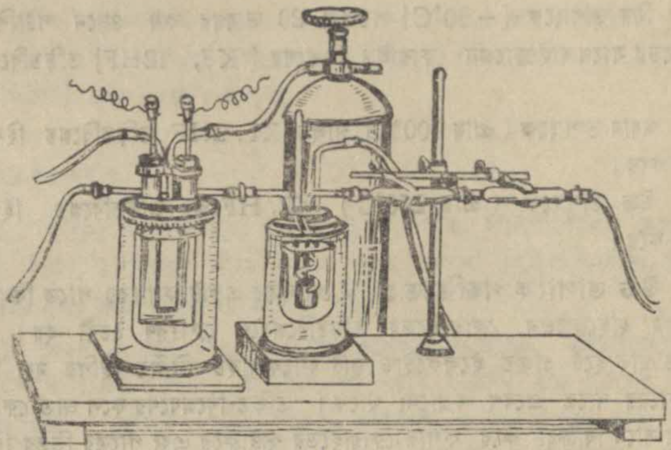
1869 খৃষ্টাব্দে গোরে প্রথম দেখালেন বিদ্যুত অপরিবাহী অনার্দ্র হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের সাথে পটাশিয়াম হইড্রোজেন ফ্লোরাইড মিশিয়ে দিলে মিশ্রণ বিদ্যুতের পরিবাহী হয়ে ওঠে। এই প্রকারের এক মিশ্রণকে প্লাটিনাম-ইরিডিয়ামের সংকর ধাতুতে তৈরী তড়িতবিশ্লেষণ পাত্রে নিয়ে একই পদার্থের তড়িতদ্বার ব্যবহার করে ময়সাঁ সর্বপ্রথম মুক্ত মৌল ফ্লোরিণ বার করলেন। পরে 1899 খৃষ্টাব্দে যন্ত্রাংশের পরিবর্তন করে তিনি কপারের পাত্র ও প্ল্যাটিনাম ইরিডিয়াম তড়িতদ্বার ব্যবহার করেছিলেন।

তাপমাত্রাকে -23°তে রাখার জন্য তিনি ফুটন্ত মিথাইল ক্লোরাইডের গাহ (bath) ব্যবহার করেছিলেন। (মিথাইল ক্লোরাইডের স্ফুটনাংক -23°C)

প্রস্তুতি: প্লাটিনাম ইরিডিয়ামের ধাতুসংকরে তৈরী U-টিউবে তড়িত বিশ্লেষণ করে ময়সাঁ ফ্লোরিণ তৈরী করেছিলেন। একই ধাতুসংকরে তৈরী, একপ্রান্ত অধিকতর চওড়া তড়িতদ্বারগুলি এখানে ফ্লোরস্পারের ঢাকনী নিয়ে U-টিউব থেকে অন্তরিত করা থাকে। এদের বাইরের অংশ গালা দিয়ে আচ্ছাদিত। তড়িতদ্বারে বা ইলেকট্রোডে উদ্ভূত গ্যাসের নির্গমের জন্য দুধারে দুটি পার্শ্বনল থাকে। পাচভাগ অনার্দ্র হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড ও একভাগ পটাশিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লোরাইডের মিশ্রণ U-টিউবে নিয়ে তরল ক্লোরাইডের গাহে নিমজ্জিত রাখা হয়। এই গাহে তরল মিথাইল ক্লোরাইডের প্রবাহ সতত অব্যাহত রাখা হয়।

তড়িতবিশ্লেষণের ফলে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন ও অ্যানোডে ফ্লোরিণ উৎপন্ন হয়। এই ফ্লোরিণকে ফুটন্ত মিথাইল ক্লোরাইডে শীতল করা প্ল্যাটিনামের সর্পিল নলের মধ্যে চালিত করলে সংগে মিশ্রিত বাষ্পীয় হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড ঘনীভূত হয়ে যায়।

অবশিষ্ট গ্যাসকে গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের মধ্য দিয়ে প্রেরণ করলে অবশিষ্ট অঘনীভূত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বাষ্প সোডিয়াম ক্লোরাইডের সাথে সোডিয়াম



চিত্র নং ২৬

হাইড্রোজেন ক্লোরাইড প্রস্তুত করে ও অবশিষ্ট ক্লোরিণ গ্যাস বায়ুর উর্ধাপসারণ দ্বারা প্ল্যাটিনাম জারে সংগ্রহ করা হয়।

$$NaF + HF = NaHF_2$$

এখানে ইলেকট্রোলাইট আসলে পটাশিয়াম ক্লোরাইড ; অনার্দ্র হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড আয়নন-কারী দ্রাবক হিসাবে কাজ করে।

$$KHF_2 = HF + KF : \quad KF \rightleftarrows K^+ + F^-$$

অ্যানোডে : $F^- - e^- = F$; $F + F = F_2$

ক্যাথোডে : $K^+ + e^- = K$ । $2HF + 2K = 2KF + H_2$

অ্যানোডে জাত গ্যাসকে জ্ঞাত ওজনের প্ল্যাটিনাম টিউবে স্থিত নির্দিষ্ট ওজনের লোহার তার দ্বারা শোষণ করিয়ে ময়সাঁ দেখেন ক্যাথোডে প্রতি একগ্রাম হাইড্রোজেন উৎপন্ন হবার সাথে সাথে নির্মুক্ত লোহার তারের ওজন 19 গ্রাম হিসাবে বৃদ্ধি পাচ্ছে। এই পরীক্ষা থেকে উৎপন্ন গ্যাসকে ক্লোরিণ বলে সিদ্ধান্ত করা হয়।

ময়সাঁ প্রবর্তিত নিম্ন-তাপাংক পদ্ধতির সবচেয়ে বড় ত্রুটিগুলি হল: (i) এতে ক্লোরিণের সাথে প্রচুর হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড মিশে থাকে (ii) অত্যধিক উদ্বায়ী হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের তাপজ অপচয় রোধ করার জন্য উৎপন্ন দ্রব্যকে $-30°$ তাপাংকে শীতল করা প্রয়োজন (iii) প্লাটিনাম অ্যানোডের সাথে KF ও HF-এর বিক্রিয়ার K_2PtF_6 হবার ফলে অ্যানোডের ক্ষয় হয়।

এই সব কারণে বর্তমানে এ পদ্ধতির ব্যবহার আর করা হয় না।

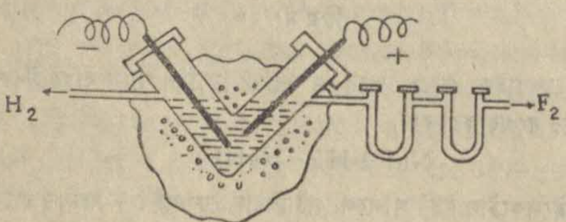
13.3c ফ্লোরিণের তড়িত বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে প্রস্তুতি নিচে বর্ণিত তিন বিভিন্ন প্রকারের সাধারণ শর্তসাপেক্ষে সম্ভব :

1. নিম্ন তাপাংকে [$-30°C$] শতকরা 20 ভাগের কম ওজনে পটাশিয়াম ক্লোরাইডের সাথে হাইড্রোজেন ফ্লোরাইড মিশ্রণের [KF, 12HF] তড়িতবিশ্লেষণ করে।

2. মধ্যম তাপাংকে (প্রায় 100°C) গলিত KF. 2HF তড়িতবিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহার করে।

3. উচ্চ তাপাংকে (প্রায় 250°C) KF, HFকে তড়িতবিশ্লেষ্য হিসাবে ব্যবহার করে।

1. **উচ্চ তাপাংক পদ্ধতিতে :** V আকৃতির একটি কপারের পাত্রে বিগলিত পটাশিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লোরাইডের তড়িতবিশ্লেষণে ফ্লোরিণ তৈরী হয়। এই পদ্ধতিতে গ্রাফাইটে প্রস্তুত ইলেকট্রোড দুটি ব্যাকেলাইট নির্মিত ছিপির মধ্য দিয়ে V আকারের পাত্রে প্রবেশ করানো থাকে। তড়িত-বিশ্লেষণের ফলে জাত ফ্লোরিণ কপারের সাথে বিক্রিয়া করে কপার ক্লোরাইডের সৃষ্টি করে এবং পাত্রের ভিতর দিকে



চিত্র নং ২৭

কপার ক্লোরাইডের এমন এক আস্তরণের সৃষ্টি হয় যার ফলে পাত্রের সাথে ফ্লোরিণের আর বিক্রিয়া ঘটে না। অ্যানোডে উৎপন্ন ফ্লোরিণ শুষ্ক সোডিয়াম ফ্লোরাইড পূর্ণ দুটি কপার U টিউবের মধ্য দিয়ে চালিত করলে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড শোষিত হয়ে যায় এবং ফ্লোরিণ বেরিয়ে আসে। ক্যাথোডে উৎপন্ন হয় হাইড্রোজেন। 12 ভোল্ট 5 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎপ্রবাহ ব্যবহার করা হয়।

2. **মধ্যম তাপাংক পদ্ধতিতে** 100° উষ্ণতায় KHF_2 ও HF-এর (শতকরা 40 ভাগ মিশ্রণকে একটি আয়তাকার ইস্পাতের পাত্রে তড়িতবিশ্লেষণ করা হয়। আয়তাকার ইস্পাতের আধারটিই ক্যাথোড এবং একটি অ-গ্রাফাইট কার্বন দণ্ড (non-graphitic carbon rod) অ্যানোড হিসাবে কাজ করে। গলিত ইলেকট্রোলাইটের মধ্যে স্থিত এই কার্বনদণ্ডটি একটি মোনেল টিউব (Monel tube) দ্বারা আবৃত থাকে ও মধ্যচ্ছদা হিসাবে অ্যানোড ও ক্যাথোডকে বিচ্ছিন্ন করে রাখে। তড়িতবিশ্লেষণে অ্যানোডে জাত ফ্লোরিণ মোনেল টিউব দিয়ে বেরিয়ে আসে এবং এর সঙ্গে মিশ্রিত হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড সোডিয়াম ফ্লোরাইডের

শোষণে দূর করা হয়। ইলেকট্রোলাইটে KF-এর পরিমাণ 60 শতাংশের বেশী হলে কার্বন অ্যানোড ব্যবহার করা যেতে পারে। তড়িতবিশ্লেষণ চলাকালে ইলেকট্রোলাইটের সংযুতি প্রয়োজনীয় HF সরাবরাহের দ্বারা সতর্কভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয়। এই পদ্ধতিতে পারফ্লোরোইথিলিনের পলিমার টেফ্‌লন দিয়ে তৈরী করা ছিপি ও যন্ত্রাংশ ব্যবহার করা হয়।

13.3d ধর্ম :

1. হাল্‌কা সবুজাভ-হলুদ, বিষাক্ত গ্যাস; গন্ধে হাইপোক্লোরাস অ্যাসিডের মত। 100° তাপাংকের নীচে কাচের সাথে কোনো বিক্রিয়া করে না, তাই ওই উষ্ণতার নীচে শুষ্ক কাচের পাত্রে রাখা যায়।

2. সকল মৌলের মধ্যে সর্বাপেক্ষা ইলেকট্রোনেগেটিভ। সরাসরিভাবে সকল ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে। সোডিয়াম, পটাশিয়াম ইত্যাদি ধাতু গ্যাসের সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে ও ফ্লোরাইড গঠন করে। অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন ছাড়া আর সব অধাতুর সাথেও সরাসরি বিক্রিয়া করে। সালফার, ফসফোরাস, চারকোল, ব্রোমিন, ও আয়োডিন এই গ্যাসে স্বতঃস্ফূর্ত ভাবে জ্বলে ওঠে।

$$C+2F_2=CF_4 \; ; \; 2B+3F_2=2BF_3S+3F_2=SF_6$$

3. হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়ার প্রবণতা ফ্লোরিণের খুব বেশী। এমন কি $-252°C$ তাপাংকেও হাইড্রোজেনের সাথে বিস্ফোরণ করে বিক্রিয়া করতে পারে। জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ওজোনিত অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$2H_2O+2F_2=4HF+O_2 : 3H_2O+3F_2=6HF+O_3$$

4. ফ্লোরিণ, ক্লোরিণ ইত্যাদি অন্যান্য হ্যালোজেনকে তাদের হাইড্রাসিড বা অন্য লবণ থেকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে।

$$2HCl+F_2=2HF+Cl : 2KCl+F_2=2KF+Cl_2$$

$$2NaBr+F_2=2NaF+Br$$

5 শীতল লঘু ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় ফ্লোরিণ মনোক্সাইড প্রস্তুত হয়, কোনো অক্সি অ্যাসিড হয় না। কিন্তু গাঢ় ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় অক্সিজেন নির্মুক্ত হয়।

$$2NaOH+2F_2=F_2O+NaF+H_2O$$

$$2NaOH+2F_2=2H_2O+4NaF+O_2$$

6. তীব্র জারক; ফ্লোরিণ পটাশিয়াম ক্লোরেটকে পারক্লোরেট ও সালফেটকে পার সালফেটে পরিণত করে।

অক্সিজেন-ফ্লোরিণ যৌগ

13.4a অক্সিজেন ডাই-ফ্লুয়োরাইড OF_2, একটি বর্ণহীন গ্যাস ; শীতল করলে $-144.8°C$-এ স্ফুটনশীল একটি বর্ণহীন তরলে পরিণত হয় এবং $-223.8°C$ তাপমাত্রায় হিমায়নে কঠিন আকার ধারণ করে। তরলের ঘনত্ব গলনাংকে ও স্ফুটনাংকে প্রতি মিলিলিটারে যথাক্রমে 1.90 ও 1.54 গ্রাম। O–F যোজক দৈর্ঘ্য (bond length) গ্যাসীয় অবস্থায় $1.4 \pm 0.1A°$ এবং F—O—F যোজক কোণ (bond angle) $105° \pm 5°$ সমযোজী ব্যাসার্দ্ধের বা Co-valent radii-এর গণনা থেকে O–F-এর একযোজকীয় বন্ধন দৈর্ঘ (single bond distance) জানা গেছে 1.46A°। কাজেই বোঝা যাচ্ছে বন্ধনের বা যোজকের প্রকৃতি সমযোজী।

রাসায়নিক ধর্ম বিচারে OF_2 মোটামুটি স্থায়ী যৌগ ; সদৃশ যৌগ Cl_2O-এর মত বিস্ফোরক নয়। তীব্র জারকধর্মের জন্য ধাতু, সালফার, ফসফোরাস, হ্যালোজেন বা হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্লোরাইড ও অক্সাইডের মিশ্রণ তৈরী করে। জলে বেশ কিছু পরিমাণে দ্রবীভূত হয় ; কিন্তু দ্রবণের কোন অ্যাসিডধর্ম পরিলক্ষিত হয় নি। এই তথ্য এবং ক্ষারীয় হাইড্রক্সাইডের সাথে এর বিক্রিয়ায় ক্লোরাইড ও অক্সিজেনের উদ্ভব থেকে এই সিদ্ধান্তই করা যায় যে এটা আম্লিক নিরুদক (acid anhydride) নয়। গ্যাসের জলীয় দ্রবণ যে তীব্র জারক তা' নিচের তথ্য থেকে স্পষ্ট :

$$H_2O + 2F^- \rightleftharpoons F_2O + 2H^+ + 2e \qquad E°_{298} = -2.1 \text{ ভোল্ট}$$

অক্সিজেন ডাই ফ্লুয়োরাইড তৈরী করা যায় শীতল লঘু সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের সাথে ফ্লোরিনের বিক্রিয়ায়।

$$2F_2 + 2NaOH = 2NaF + F_2O + H_2O$$

ক্ষারের সাথে পুনশ্চ বিক্রিয়ায় F_2O-এর ক্রমশঃ বিনাশরোধ করার জন্য ফ্লোরিণ ও সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের সংস্পর্শের সময় ন্যূনতম করা হয়।

13.4b অক্সিজেন মনোফ্লুয়োরাইড O_2F_2 একটি লাল তরল ; $-95°C$ তাপাংকের উর্ধে যথেষ্ট তাপবিয়োজন ঘটায় সঠিক স্ফুটনাংক নির্ণয় করা যায় না। $-170°C$ তাপাংকে কমলা রঙের একটি কঠিনে পরিণত হয়। $-100°C$ তাপাংকের নীচে নির্ণীত ঘনত্ব থেকে এই হাল্কা বাদামী রঙের গ্যাসের সংযুতি O_2F_2 হবে বলে সিদ্ধান্ত করা যায়। কিন্তু উচ্চতর উষ্ণতায় তাপ বিয়োজনে অক্সিজেন ও ফ্লোরিণের মিশ্রণে পরিণত হয়। $-156°C$ তাপাংকে তরলের ঘনত্ব মিলিলিটার প্রতি 1.734 গ্রাম।

15 থেকে 20 মিমি চাপে তরল বায়ুর তাপমাত্রায় অক্সিজেন ফ্লোরিণের মিশ্রণে দীপ্তমোক্ষণ (Glow discharge) করে অক্সিজেন মনোফ্লুয়োরাইড তৈরী করা হয়।

হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড

13.5a প্রস্তুতি ঃ

1. ফ্লোরিণ ও হাইড্রোজেনের প্রত্যক্ষ সংযোগে (এমনকি অন্ধকারেও) হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড তৈরী হয়। এই বিক্রিয়া বিস্ফোরণ সহকারে ঘটে।

2. চূর্ণ ফ্লোরস্পার ও ৭০ শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে 300°C উষ্ণতায় লেড-রিটর্টে বালিগাহে সর্তকতার সঙ্গে পাতিত করলে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের 40% জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। একে গাটাপার্চা, পলিথিন বা মোমের প্রলেপযুক্ত কাচের আধারে সঞ্চয় করে রাখা হয়।

3. প্রযুক্তি পর্যায়ে (Technical scale) হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে ৭০ শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিড ও চূর্ণ ফ্লোরস্পার ঢালাই লোহার (বা কাস্ট আয়রনের) রিটর্টে পাতিত করলে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড বাষ্প ঘনীভূত হয়ে ইস্পাত, লেড বা কপারের পাত্রে (Receiver) সংগৃহীত হয়। এই গ্রাহককে আগে থেকে শীতল করে রাখা হয়। ইস্পাতের তৈরী যন্ত্রে অংশায়িত (fractionated) করে একে গাঢ় করলে প্রায় অনার্দ্র (0.1 – 0.2% জলীয় বাষ্প যুক্ত) হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড পাওয়া যায় ও ইস্পাতের সিলিণ্ডারে সঞ্চয় করা হয়।

4. ল্যাবোরেটরীতে পটাশিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লোরাইডকে বা ফ্রেমির লবণকে উত্তাপে বিয়োজিত করে অনার্দ্র হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়। কপার বা প্ল্যাটিনামের রিটর্টে KHF_2 নিয়ে উত্তাপ দিলে KHF_2 ভেঙে গিয়ে KF ও HF সৃষ্টি করে। গ্যাসীয় HF-কে ঠাণ্ডা করে রিটর্টের সাথে যুক্ত ও একই ধাতুতে প্রস্তুত এবং হিমমিশ্রণে (বরফ + NaCl) শীতল করা গ্রাহকে তরল অবস্থায় সঞ্চয় করা হয়। সামান্য যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প অ্যাসিডের সাথে মিশে থাকে তা' প্ল্যাটিনাম ইলেকট্রোডের সাহায্যে ওই অ্যাসিডের তড়িতবিশ্লষণে দূর করা যেতে পারে। অনার্দ্র অ্যাসিড বিদ্যুতের অপরিবাহী। কাজেই যখন ইলেকট্রোলাইট [এক্ষেত্রে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড] বিদ্যুতের অপরিবাহী হয়ে উঠবে তখন তা' থেকে জলীয় বাষ্প দূর হয়ে গেছে বলা যেতে পারে।

13·5b ফ্রেমির লবণ ঃ

নিম্নলিখিত ভাবে ফ্রেমির লবণ তৈরী করা যেতে পারে।

হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ সমান দুভাগে ভাগ করে নিয়ে একভাগকে ক্রমে ক্রমে পটাশিয়াম কার্বনেট দিয়ে বুদ্‌বুদ্‌ বার হওয়া বন্ধ না হওয়া পর্যন্ত প্রশমিত করা হয়। এর ফলে পটাশিয়াম ফ্লোরাইডের সৃষ্টি হয়। এই প্রশমিত দ্রবণের সংগে অ্যাসিডের অন্য অংশ মিশিয়ে বাষ্পীভবনের দ্বারা প্রথমে একে বিশুদ্ধ করা হয়। পরে আবার 100° তাপে শুষ্ক করে ভ্যাকুয়াম ডেসিকেটারে (ভ্যাকুয়াম শোষকাধার) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের ওপর রেখে জলীয় বাষ্পের শেষ বিন্দুটুকু পর্যন্ত দূর করা হয়। ফ্রেমির লবণের গলনাংক 230° এবং উচ্চতাপে এই যৌগ বিয়োজিত হয়।

$$2HF + K_2CO_3 = 2KF + H_2O + CO_2$$

$$KF + HF = KHF_2$$

13.3c ধর্ম ঃ 1. বর্ণহীন চরম বিষাক্ত এবং তীব্রভাবে ধূমায়মান এই তরলের স্ফুটনাংক 19.5°C. এর বাষ্পও অবক্ষয়কারী এবং ত্বকের সংস্পর্শে এলে অতি দ্রুত ক্ষতের সৃষ্টি করে।

[ক্ষত সঙ্গে সঙ্গে ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইডের দ্রবণ দিয়ে চিকিৎসা করতে হয়। নিঃশ্বাসের সাথে HF গ্রহণ করলে স্থায়ী স্বরহীনতা এমনকি মৃত্যু পর্যন্ত হতে পারে। এ নিয়ে কাজের সময় দস্তানা ব্যবহার করতে হয়।]

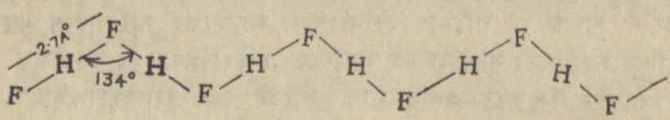
2. জলের সাথে সম্পূর্ণ মিশ্রণীয়—জলীয় দ্রবণ তড়িতপরিবাহী : কিন্তু অনার্দ্র দ্রবণ তড়িত অপরিবাহী। জলীয় দ্রবণে $HF \rightleftarrows H^+ + F^-$ হিসাবে আয়নিত হলেও F^- আয়ন হাইড্রোজেন বন্ধনের মাধ্যমে অবিয়োজিত হাইড্রোজেন ফ্লোরাইড অণুর সৃষ্টি করে।

$$F^- + HF \rightleftarrows [FHF]^-$$

প্রথম ক্ষেত্রে আয়নন ধ্রুবক (Ionisation constant) $K_1 = 7.2 \times 10^{-4}$ ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $pK_2 = [FHF]^-/[F^-][HF] = 5{\cdot}5$. কাজেই HF একটি দুর্বল অ্যাসিড ও H[FHF] একটি তীব্র অ্যাসিড। দুর্বল অ্যাসিড হলেও এর জলীয় দ্রবণ সম্ভ্রান্ত ধাতু ছাড়া সকলের সাথেই বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন ও ধাতব ফ্লোরাইড সৃষ্টি করে। সোডিয়াম ও পটাশিয়ামের ফ্লোরাইডের সাথে অ্যাসিড ফ্লোরাইড গঠিত হয়।

$$Fe + 2HF = FeF_2 + H_2$$
$$HF + NaF = NaHF_2$$

3. হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড তরল অবস্থায় সংযুক্ত বা সংবদ্ধ (associated) থাকে। কঠিন অবস্থায় এই যৌগ এক অন্তহীন আঁকাবাঁকা অণুশৃংখল রূপে থাকে।



কিন্তু ইলেকট্রন ডিফ্র্যাকশন থেকে পাওয়া তথ্য থেকে জানা যায় F–H–F–H–F-এর যোজক-কোণ গড়ে 140° এবং এটাই অপেক্ষাকৃত নির্ভরযোগ্য মান। 15° থেকে 90°C তাপাংকে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড HF ও H_6F_6-এর মিশ্রণ হিসাবে থাকে। গাঢ় দ্রবণে নির্ণীত ট্রান্সপোর্ট সংখ্যা (transport number) থেকে জানা যায় দ্রবণে HF^{2-} আয়নের অস্তিত্ব আছে। তাই থেকে সিদ্ধান্ত করা যেতে পারে গাঢ় দ্রবণে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড H_2F_2 হিসাবে থাকে। 100°C তাপাংকে নির্ণীত বাষ্পীয় ঘনত্ব থেকে জানা গেছে এর সংকেত হবে HF.

4. হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড বোরিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় ফ্লুয়োবোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$B(OH)_3 + 4HF = HBF_4 + 3H_2O$$

5. সিলিকনের সাথে বিক্রিয়া ও কাচ খোদাইঃ কাচের সাথে বিক্রিয়ায় হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড সিলিকন টেট্রাফ্লোরাইড ও জল সৃষ্টি করে। এই বিক্রিয়ার সাহায্যে কাচ খোদাই করা যায়।

$$4HF+SiO_2=SiF_4+2H_2O$$

কাচ খোদাই করতে হলে প্রথমে কাচের পাত্রটিকে গলিত মোমের মধ্যে ডুবিয়ে গায়ে একটা পাতলা মোমের আস্তরণ সৃষ্টি করে নেওয়া হয়। তারপর একটি সরু নিব দিয়ে মোমের উপর প্রয়োজনীয় নক্শা একে নেওয়া হয়। এর উপর এখন একটা ব্রাশ দিয়ে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ লাগিয়ে দেওয়া হয় অথবা নক্শার উপর দিয়ে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড গ্যাস 10–15 মিনিট ধরে প্রবাহিত করা হয়; মোমের সাথে হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের কোনো বিক্রিয়া হয় না। পরে কাচের পাত্রটি প্রথমে জলে ধুয়ে অতিরিক্ত হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড ও তারপর তার্পিন তেল দিয়ে মোম দূর করলে পাত্রের গায়ে নকশার সুস্পষ্ট দাগ ফুটে ওঠে।

13.5d ব্যবহার ঃ 1. কাচ খোদাই-এর কাজে, যন্ত্রপাতি (যথা ব্যুরেট, থার্মোমিটার ইত্যাদি অংশাঙ্কিত করার কাজে, গ্রাফাইট ও লোহার ঢালাই থেকে সিলিকা দূর করার কাজে

2. অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে "ওয়াইল্ড ঈষ্টের বৃদ্ধি রোধ করার জন্য, রঙ, চোলাই-এর বাণিজ্যিক উৎপাদনের ক্ষেত্রে

3. সোডিয়াম ও জিংক ফ্লোরাইড কাঠ সংরক্ষণে, সোডিয়াম ফ্লোরাইড জীবাণু-নাশক হিসাবে, ম্যাগনেশিয়াম ফ্লুয়োসিলিকেট সিমেণ্টের তল-সংরক্ষণে (Surface protection) এবং হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিড সিলিকেট খনিজ বিশ্লেষণে ও জৈব রসায়নে অনুঘটক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

13. **সনাক্তকরণ ঃ** 1. কাচ খোদাই-এর দ্বারা সহজেই যৌগে এই অ্যাসিড মূলকের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়।

2. ফ্লোরাইডকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড দিয়ে সিলিকা সহযোগে উত্তপ্ত করলে [কাচের পরীক্ষানল ব্যবহার করলে পৃথকভাবে সিলিকা যোগ করতে হবে না, কাচের থেকেই তা' আসবে] সিলিকন টেট্রাফ্লোরাইড গ্যাস বেরিয়ে আসবে। কাচের নলের মাথায় করে একবিন্দু জল এই গ্যাসে ধরলে জলবিন্দু অদ্রবনীয় সিলিসিক অ্যাসিডের জন্য অস্বচ্ছ ও অনেক সময় মোমের মত শক্ত কঠিনে পরিণত হবে।

$$CaF_2+H_2SO_4=CaSO_4+2HF$$
$$4HF+SiO_2=SiF_4+2H_2O$$
$$3SiF_2+4H_2O=2H_2SiF_6+Si(OH)_4$$

এই অস্বচ্ছ বস্তুকে একটি ফিলটার কাগজে নিয়ে তাতে এক ফোঁটা অ্যামোনিয়াম মলিবডেট দিয়ে 40° তাপে শুকিয়ে নিয়ে প্রথমে বেনজিডিন অ্যাসিটেট ও তারপর পটাশিয়াম অ্যাসিটেট দিলে ফিলটার কাগজস্থিত বিন্দুটি নীল হয়ে যাবে।

ক্লোরিণ

13.6a পরিচয় :

1774 খৃষ্টাব্দে সুইডিশ বিজ্ঞানী শীলি সর্বপ্রথম ক্লোরিণ আবিষ্কার করেন। প্রথমে একে একটি অক্সাইড বলে সিদ্ধান্ত করা হলেও 1810 খৃষ্টাব্দে ডেভি এর মৌলিকত্ব প্রমান করেন এবং সবুজাভ হলুদ রঙের জন্য এর নাম দেন ক্লোরিণ।

13.6b অবস্থান বা উৎস :

রাসায়নিক সক্রিয়তার জন্য মুক্ত মৌল অবস্থায় প্রকৃতিতে ক্লোরিণ পাওয়া যায় না। কিন্তু যৌগ হিসাবে সামুদ্রিক লবণ, NaCl, রূপে, কার্নালাইট KCl, $MgCl_2$, $6H_2O$ হিসাবে এবং জার্মানীর স্টাসফুর্টে সিলভাইন KCl হিসাবে পাওয়া যায়। এ' ছাড়া ক্লোরিণের আর একটি উল্লেখযোগ্য যৌগ হল হর্ণসিলভার AgCl.

13.6c প্রস্তুতির রাসায়নিক তত্ত্ব :

ল্যাবোরেটরীতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বা ধাতব ক্লোরাইড ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া থেকে জাত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের ক্লোরাইড আয়নকে কালো ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড বা পারম্যাঙ্গানেট বা অন্য কোনো উপযুক্ত জারক দিয়ে জারিত করে ক্লোরিণ উৎপন্ন করা যায়।

ক্লোরিণ উৎপাদনের জন্য শিল্পে সাধারণতঃ সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের ক্লোরাইড আয়নকে তড়িতজারণ করা হয়। এই তড়িত জারণে নিম্নলিখিত ইলেকট্রোড বিক্রিয়া ঘটে :

অ্যানোতে : $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e$

ক্যাথোতে : $2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$

এই পদ্ধতিতে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ও হাইড্রোজেন উপজাত হিসাবে পাওয়া যায়। কাথোড ও অ্যানোডে জাত দ্রব্যের পারস্পরিক দ্বিতীয় পর্যায়ের বিক্রিয়া নিবৃত্ত করার জন্য উভয় তড়িতদ্বারের মধ্যে একটি মধ্যচ্ছদা দেওয়া থাকে।

13.6d ল্যাবোরেটরী পদ্ধতি :

1 (ক) একটি ফ্লাসকে কিছু পরিমান ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড নিয়ে তার মুখ একটি থিসেল ফানেল ও নির্গম নল লাগান কর্ক দিয়ে বন্ধ করে দেওয়া হল। এর মধ্যে গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বেশ কিছু পরিমানে দিয়ে সামান্য উত্তাপ দিলেই সবুজাভ হলুদ গ্যাস বেরিয়ে আসবে। এই গ্যাসকে প্রথমে একটি জলপূর্ণ ফ্লাসকে, তারপর গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যদিয়ে চালিত করলে প্রথমে সংশ্লিষ্ট হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বাষ্প ও দ্বিতীয় পর্যায়ে জলীয় বাষ্প দূর হয়। বায়ুর উর্ধাপসারণ দ্বারা তারপর অনার্দ্র অবস্থায় একে গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়। [জলপূর্ণ ফ্লাস্ক. গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের পাত্র ও বিক্রিয়া পাত্রটি পরস্পর যুক্ত করা থাকে] বায়ুর উর্ধাপসারণ ছাড়াও সম্পৃক্ত লবণ জল বা গরম জলের অপসারণ দ্বারাও এই গ্যাস সংগ্রহ করা যায়, কিন্তু মার্কারি বা ঠাণ্ডা জলের অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা চলে না.

কারণ ক্লোরিণ ঠাণ্ডা জলে দ্রবণীয় ও মার্কারি সঙ্গে এর বিক্রিয়া ঘটে। ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইডের সাথে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দুই পর্যায়ে হয়।

$$2MnO_2+8HCl=2MnCl_3+Cl_2+H_2O$$
$$2MnCl_3=2MnCl_2+Cl_2$$
$$\overline{2MnO_2+8HCl=2MnCl_2+2Cl_2+H_2O}$$

1 (খ) শুধু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের পরিবর্তে 5 ভাগ MnO_2, 11 ভাগ সাধারণ লবণ, 14 ভাগ 50 শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ উত্তপ্ত করলেও ক্লোরিণ পাওয়া যায়।

$$MnO_2+2NaCl+3H_2SO_4=2NaHSO_4+MnSO_4+2H_2O+Cl_2$$

2. স্বাভাবিক তাপে ক্লোরিণের অব্যাহত সরবরাহ পেতে হলে ল্যাবোরেটরীতে একটি কনিক্যাল (conical) ফ্লাস্কে পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট বা ডাইক্রোমেটের কেলাসের ওপর ফোঁটা ফোঁটা ঘন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ফেলে ক্লোরিণ উৎপন্ন করা হয়।

$$2KMnO_4+16HCl=2KCl+2MnCl_2+8H_2O+5Cl_2$$
$$K_2CrO_7+14HCl=2KCl+2CrCl_3+7H_2O+3Cl_2$$

3. এছাড়া আর যে সব বিভিন্ন পদ্ধতিতে ক্লোরিণ উৎপন্ন করা যেতে পারে সেগুলি হল ;

(ক) ব্লিচিং পাউডারের সাথে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের স্বাভাবিক তাপে বিক্রিয়ায়।

$$Ca\,(OCl\;\;Cl+2Cl_2=CaCl_2+H_2O+Cl_2$$

(খ) প্ল্যাটিনিক বা কিউপ্রিক ক্লোরাইডকে 6 .0°C তাপে উত্তপ্ত করে,

$$PtCl_4=Pt+2Cl_2\;;\;2CuCl_2=Cu_2Cl_2+Cl_2$$

(গ) অরিক ক্লোরাইডকে 275°c তাপে উত্তপ্ত করলে অরিক ক্লোরাইড প্রথমে অরাস ক্লোরাইড হয়. পরে অধিকতর তাপে ভেঙ্গে গিয়ে সোনা ও ক্লোরিণ গ্যাস পাওয়া যায়।

$$AuCl_3=AuCl+Cl_2\;;\;2AuCl=2Au+Cl_2$$

(ঘ) এ ছাড়া অনেক গলিত ধাতব ক্লোরাইডের (যথা NaCl, AgCl, $SnCl_2$ ইত্যাদি) তড়িত বিশ্লেষণ করলে অ্যানোডে ক্লোরিন উৎপন্ন হয়। জেনা কাচের U-টিউবে কার্বন ইলেকট্রোড ব্যবহার করে গলিত সিলভার ক্লোরাইডের তড়িত-বিশ্লেষণে বিশুদ্ধ ক্লোরিণ পাওয়া যায়।

13.6c ধর্ম : 1. বাতাসের চেয়ে 2·5 গুণ ভারী, সবুজাভ-হলুদ, চরম বিষাক্ত, তীব্র ঝাঁঝালো এই ক্লোরিন গ্যাসের অবক্ষয়ী ধর্ম আছে এবং চাপে ও শীতল করে একে তরল করা সম্ভব।

2. (ক) জলে যথেষ্ট পরিমানে দ্রবনীয়, তবে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের চেয়ে কম। কাজেই জলের মধ্য দিয়ে চালিত করলে সংশ্লিষ্ট হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দূর করা যায়।

(খ) জলীয় দ্রবণ ঈষৎ পীতাভ, তীব্র গন্ধযুক্ত। প্রকৃতপক্ষে এই ক্লোরিণজল হাইড্রোক্লোরিক ও হাইপোক্লোরাস অ্যাসিডের মিশ্রণ। উন্মুক্ত অবস্থায় সূর্যালোকে হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড থেকে জায়মান অক্সিজেন বার হয়, কাজেই ক্লোরিণ জলে বিরঞ্জক ও জারক ধর্ম দেখা যায়।

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HOCl$$
$$2HOCl = 2HCl + O_2$$

(গ) উজ্জ্বল সূর্যালোকে জলকে বিয়োজিত করে ক্লোরিণ অক্সিজেন সৃষ্টি করে।

$$2H_2O + 2Cl_2 \rightleftharpoons 4HClO_2$$

(ঘ) ক্লোরিনের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণকে O° তাপে শীতল করলে কেলাসিত Cl_2, $6H_2O$, ক্লোরিন হাইড্রেট পাওয়া যায়।

3. নিজে দাহ্য পদার্থ না হলেও ফসফোরাস আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি, বিসমাথ, সোডিয়াম কপার প্রভৃতি মৌলগুলির দহনে সহায়তা করে।

অ্যান্টিমনি বা আর্সেনিকের মিহি পাউডার ক্লোরিণপূর্ণ জারের মধ্যে ছিটিয়ে দিলে স্বতঃস্ফুর্তভাবে জ্বলে ওঠে। সাদা ফসফোরাসের টুকরো বা পাতলা কপারের পাতও একই ভাবে বিক্রিয়া করে। বাল্ব টিউবে উত্তপ্ত সোডিয়ামের ওপর ক্লোরিণ গ্যাস পাঠালেও উজ্জ্বল হলদে শিখা দেখা যাবে।

$$2As + 3Cl_2 = 2AsCl_3 \quad : \quad 2Na + Cl_2 = 2NaCl$$
$$Cu + Cl_2 = CuCl_2 \quad : \quad 2Sb + 5Cl_2 = 2SbCl_5$$
$$2P + 5Cl_2 = 2PCl_5 \quad : \quad 2P + 3Cl_2 = 2PCl_3$$

ক্লোরিণ সরাসরিভাবে প্রায় সব ধাতু ও অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে। কিন্তু কার্বন, নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের সঙ্গে সোজাসুজি ভাবে বিক্রিয়া ঘটে না। এদের ক্লোরাইড পরোক্ষভাবে তৈরী করা হয়।

4. হাইড্রোজেনের সঙ্গে ক্লোরিণের বিক্রিয়ার প্রবলতা ব্যাপক। সূর্যালোক সম্পাতে হাইড্রোজেন ও ক্লোরিণের মিশ্রন বিস্ফোরন করে বিক্রিয়া করে ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড গঠিত হয়।

$$H_2 + Cl_2 = 2HCl$$

(ক) হাইড্রোজেন গাসের জ্বলন্ত শিখা ক্লোরিণপূর্ণ গ্যাসজারে মধ্যে প্রবেশ করালে তা' জ্বলতে থাকে ও HCl তৈরী হয়।

(খ) ক্লোরিণপূর্ণ জারে জ্বলন্ত মোমবাতি রাখলে বাতিটি প্রচুর কালো ধোঁয়া সহকারে জ্বলতে থাকবে।

(গ) তারপিন তেলে সিক্ত একটুকরা কাগজ ক্লোরিণপূর্ণ জারে নিক্ষেপ করলে কাগজটি জ্বলে উঠবে ও কালো ধোঁয়ায় জারটি পূর্ণ হয়ে যাবে।

$$C_{10}H_{16} + 8Cl_2 = 10C + 16HCl$$

5. **ক্ষারের সাথে বিক্রিয়া ঃ**

(ক) শীতল, লঘু ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে [যথা $NaOH$, KOH, $Ca(OH)_2$ ইত্যাদি] বিক্রিয়ায় ক্লোরিণ, ক্লোরাইড ও হাইপোক্লোরাইট গঠন করে

$$Cl_2 + 2NaOH = NaCl + NaOCl + H_2O$$

যতক্ষণ দ্রবণটি ক্ষারীয় থাকে ততক্ষণই হাইপোক্লোরাইট হয়। ক্ষার অপসারিত হলেই অতিরিক্ত ক্লোরিণের উপস্থিতির জন্য হাইপোক্লোরাইট ক্লোরেটে পরিণত হয়।

(খ) উষ্ণ গাঢ় ক্ষারীয় দ্রবণও ক্লোরিণের সাথে বিক্রিয়ায় প্রথমে হাইপোক্লোরাইট ও ক্লোরাইড উৎপন্ন করে, পরে হাইপোক্লোরাইট থেকে ক্লোরেট হয়।

$$3Cl_2 + 6NaOH = 3NaCl + 3NaOCl + 3H_2O$$
$$3NaOCl = 2NaCl + NaClO_3$$
$$\overline{3Cl_2 + 6NaOH = 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O}$$

একইভাবে ক্যালশিয়াম হাইড্রক্সাইড বা মিল্ক অব লাইমের সাথে বিক্রিয়ায় ঘটে

$$2Ca(OH)_2\,[\text{শীতল}] + 2Cl_2 = CaCl_2 + Ca(OCl)_2 + 2H_2O$$
$$6Ca(OH)_2\,[\text{উষ্ণ}] + 6Cl_2 = 5CaCl_2 + Ca(ClO_3)_2 + 6H_2O$$

(গ) শুকনো কালিচূনের সাথে বিক্রিয়ায় ক্লোরিণ ব্লিচিং পাউডার উৎপন্ন করে।

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 = Ca(OCl)Cl + H_2O$$

লাল তপ্ত ক্যালসিয়াম অক্সাইডের সাথে বিক্রিয়ায় ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$2CaO + 2Cl_2 = 2CaCl_2 + O_2$$

(ঘ) হাইড্রোজেন পারক্সাইডের ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় অক্সিজেন উদ্ভূত হয়

$$H_2O_2 + 2NaOH + Cl_2 = 2NaCl + 2H_2O + O_2$$

6. **জারণ ক্রিয়া ঃ**

(ক) তীব্র জারক হবার জন্য ক্লোরিণ সহজেই স্ট্যানাস্ ও ফেরাস লবণকে যথাক্রমে স্ট্যানিক ও ফেরিক লবণে পরিবর্তিত করতে পারে :

$$SnCl_2 + Cl_2 = SnCl_4 \quad ; \quad 2FeCl_2 + Cl_2 = 2FeCl_3$$

(খ) অ্যামোনিয়াকে জারিত করে নাইট্রোজেন উৎপন্ন করে ; কিন্তু ক্লোরিণের পরিমাণ বেশী হলে তেলের মত তরল নাইট্রোজেন ট্রাইক্লোরাইড হয়।

$$3Cl_2 + 8NH_3 = 6NH_4Cl + N_2$$
$$3Cl_2 + NH_3 = NCl_3 + 3HCl$$

(গ) জলের উপস্থিতিতে ক্লোরিণ অন্য পদার্থে অক্সিজেন যুক্ত করে জারণ ঘটায় ; কারণ জল বা জলীয় বাষ্পের সাথে বিক্রিয়ায় জায়মান অক্সিজেন উদ্ভূত হয় এবং সেই অক্সিজেনই অন্য পদার্থকে জারিত করে। যথা,

$$Cl_2 + H_2O + H_2SO_3 = H_2SO_4 + 2HCl$$

(ঘ) ক্লোরিণ, ব্রোমিন ও আয়োডিনকে তাদের যৌগ থেকে ও H_2S থেকে সালফারকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে।

$$2KX + Cl_2 = 2KCl + X_2 \qquad (X = Br \text{ বা } I)$$
$$H_2S + Cl_2 = 2HCl + S$$

পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণে এক সি.সি. ক্লোরোফর্ম দিয়ে ক্লোরিণ জল মিশিয়ে ঝাঁকিয়ে রেখে দিলে তলার ক্লোরোফর্ম স্তরে ক্লোরিনের সাথে বিক্রিয়ায় মুক্ত আয়োডিন দ্রবীভূত হয়ে স্তরটিকে বেগুনী করে দেয়। পটাশিয়াম আয়োডাইডের বদলে পটাশিয়াম ব্রোমাইড নিলে জৈবস্তরের রঙ লাল্‌চে-বাদামী হবে।

7. **বিরঞ্জন :** জলীয় বাষ্প বা আর্দ্রতার উপস্থিতিতে ক্লোরিণ পদার্থের উদ্ভিজ রঙ (vegetable colour) বিরঞ্জিত করতে পারে ; কিন্তু শুষ্ক বা অনার্দ্র অবস্থায় এ ক্ষমতা থাকে না। ক্লোরিণের বিরঞ্জনও প্রকৃতপক্ষে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের বিরঞ্জনের মতই জায়মান অক্সিজেনের দ্বারা হয়। ক্লোরিণ যে পদার্থকে বিরঞ্জিত করে তার জলীয় অংশের সাথে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জায়মান অক্সিজেনের সৃষ্টি হয় এবং এই জায়মান অক্সিজেন রঙিন পদার্থকে বিরঞ্জিত করে।

$$Cl_2 + H_2O = 2HCl + O_2$$

পরীক্ষা : কতকগুলি গ্যাস জারে গাছের সবুজ পাতা, একটুকরা লাল কাপড় এবং একটুকরা ছাপানো কাগজ নিয়ে এদের মধ্যে আর্দ্র ক্লোরিণ গ্যাস প্রবাহিত করা হল। দেখা যাবে একমাত্র ছাপানো কাগজটি ছাড়া অন্য সবগুলি বিরঞ্জিত হয়ে গেছে। ছাপার কালিতে কার্বন মুক্ত অবস্থায় থাকে বলে কার্বনের সাথে ক্লোরিণের বিক্রিয়া হয় না।

8. (ক) কার্বন মনক্সাইড, সালফার ডাই অক্সাইড, ইথিলীন প্রভৃতি যৌগের সাথে বিক্রিয়া করে ক্লোরিণ $COCl_2$ কার্বনিল ক্লোরাইড, সালফিউরাইল ক্লোরাইড SO_2Cl_2 ও ইথিলীন ডাই ক্লোরাইড প্রভৃতি যুতযৌগ গঠন করে।

$$CO + Cl_2 = COCl_2 \text{ (ফসজেন)}$$
$$SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2$$
$$\begin{matrix} CH_2 \\ \| \\ CH_2 \end{matrix} + Cl_2 = \begin{matrix} CH_2Cl \\ | \\ CH_2Cl \end{matrix}$$

(খ) জৈব যৌগের হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করে ক্লোরিণ বিভিন্ন যৌগ সৃষ্টি করতে পারে। যেমন

$$CH_4 + Cl_2 = CH_3Cl + HCl$$
$$CH_3Cl + Cl_2 = CH_2Cl_2 + HCl$$
$$CH_2Cl_2 + Cl_2 = CHCl_3 + HCl$$
$$CHCl_3 + Cl_2 = CCl_4 + HCl$$

13.6f ব্যবহার :

1. কাগজ, পেট্রোলিয়াম শিল্পে ও বস্ত্রশিল্পে বিরঞ্জক হিসাবে।

2. জলে জীবাণু-নাশক ও অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ক্ষত পরিষ্কার করতে Na_2CO_3, $10H_2O$-এর সাথে ক্লোরিণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে যে দ্রবণ পাওয়া যায় তা' কারেল-ডাকিন দ্রবণ নামে পরিচিত; ক্ষত স্থান পরিষ্কার করতে এই দ্রবণ ব্যবহৃত হয়।

3. স্বর্ণ নিষ্কাশনে, ব্লিচিং পাউডার, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড হাইপোক্লোরাইট ও বিভিন্ন ক্লোরাইডের প্রস্তুতিতে (যেমন $AlCl_3$, $MgCl_2$, $SnCl_4$ এবং PCl_3)

4. বিভিন্ন বিষাক্ত গ্যাসে (যেমন ফসজেন, মাসটার্ড গ্যাস ক্লোরোপিকরিন গ্যাস তৈরীতে)।

13.6g ক্লোরিণ প্রস্তুতির শিল্প পদ্ধতি : কস্টিক সোডা ও সোডিয়ামের শিল্প প্রস্তুতিতে, গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের তড়িত বিশ্লেষণে উপজাত হিসাবে ক্লোরিণ পাওয়া যায়। এই ক্লোরিণ ইস্পাতের সিলিণ্ডারে চাপে তরল অবস্থায় সঞ্চিত করা হয়।

হাইড্রোজেন ও ক্লোরিণের সংশ্লেষণের দ্বারা আজকাল হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয় বলে ডিকন বা ওয়েলডন পদ্ধতিতে ক্লোরিণ প্রস্তুত করা হয় না।

ওয়েলডন পদ্ধতি : বৃহৎ পাথরের পাত্রে ঘন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও পাইরোলুসাইট (10% ফেরিক অক্সাইড যুক্ত) মিশ্রণ স্টীম চালিত করে উত্তপ্ত করলে ক্লোরিণ উৎপন্ন হয়।

$$MnO_2 + 4HCl = MnCl_2 + 2H_2O + Cl_2$$

ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড পুনরুদ্ধার করার জন্য ম্যাঙ্গানাস ক্লোরাইড, ফেরিক ক্লোরাইড ও অবশিষ্ট অ্যাসিডের দ্রবণ প্রথমে লাইমস্টোন দিয়ে প্রশমিত করা হয়। এর ফলে আয়রণ ফেরিক অক্সাইডের হিসাবে অধঃক্ষিপ্ত হয়। থিতাইবার জন্য দ্রবণটিকে একটি সেটলিং ট্যাংকে রাখা হয়। ম্যাঙ্গানাস অক্সাইড সমম্বিত এই তরল এই পর্যায়ে আস্রাবিত করে আলাদা করার পর শতকরা 30 – 40 ভাগ অতিরিক্ত মিল্‌ক অব লাইম মিশিয়ে 60° তে স্টীমের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয়।

$$MnCl_2 + Ca(OH)_2 = Mn(OH)_2 + CaCl_2$$

ম্যাঙ্গানাস হাইড্রক্সাইড বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড তৈরী করে ও অতিরিক্ত চুনজলের সাথে বিক্রিয়া করে কালো কাদা বা ওয়েলডন মাড CaO,MnO_2 সৃষ্টি করে।

$$2Mn(OH)_2 + 2Ca(OH)_2 + O_2 = 2CaO, MnO_2 + 4H_2O.$$

চূণের পরিমাণ বেশী থাকায় অসম্পূর্ণ জারণ হয়ে ম্যাঙ্গানাস ম্যাঙ্গানাইট হওয়া সম্ভব হয় না। এই কাদা আবার ঘন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে ও বিক্রিয়াটি এই ভাবে চলতে থাকে:

$$CaO, MnO_2 + 6HCl = CaCl_2 + MnCl_2 + 3H_2O + Cl$$

এই পদ্ধতিতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড থেকে মাত্র 30% ক্লোরিণ পাওয়া যায়।

ডিকন পদ্ধতি : এই পদ্ধতিতে কিউপ্রিক ক্লোরাইড অনুঘটকের সাথে 456° তাপাংকে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডকে বাতাসের অক্সিজেন দিয়ে জারিত করে ক্লোরিণ তৈরী করা হয়।

$$4HCl + O_2 \rightleftarrows 2Cl_2 + 2H_2O$$

শুষ্ক ক্লোরিণ ও বাতাসের মিশ্রণকে (1:4 আয়তনিক পরিমাণে) 200° তাপে আগে উত্তপ্ত করে নিয়ে কিউপ্রিক ক্লোরাইডের দ্রবণে সিক্ত ঝামা-ইটের টুকরা পূর্ণ একটি বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠানো হল। 450°C তাপে স্থিত অনুঘটক প্রথমে ভেঙ্গে গিয়ে কিউপ্রাস ক্লোরাইডে পরিণত হয়।

$$2CuCl_2 = Cu_2Cl_2 + Cl_2$$

এই কিউপ্রাস ক্লোরাইড বায়ুর অক্সিজেনের সহায়তায় হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের ক্লোরিণ আত্মসাৎ করে কিউপ্রিক ক্লোরাইড হয় ও এই কিউপ্রিক ক্লোরাইড আবার ভেঙ্গে গিয়ে কিউপ্রাস ক্লোরাইডে পরিণত হয় ও ক্লোরিণ মুক্ত হয়।

$$2Cu_2Cl_2 + 4HCl + O_2 = 4CuCl_2 + 2H_2O$$
$$2CuCl_2 = Cu_2Cl_2 + Cl$$

এই বিক্রিয়াটি অবিরাম চলতে থাকে ও এতে প্রায় 60% ক্লোরিণ পাওয়া যায়। উদ্ভূত ক্লোরিণ গ্যাস কনভারটার বা বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠ থেকে বেরিয়ে একটি স্তম্ভের ভেতর দিয়ে নীচ থেকে উপরে উঠতে থাকে আর উপর থেকে নীচে জলের ধারা বর্ষণ করে ক্লোরিণ গ্যাসকে ধৌত করে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দূর করা হয়। এই গ্যাসকে এর পর গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করে শুষ্ক করা হয়। কিন্তু উৎপন্ন গ্যাসের মধ্যে প্রচুর পরিমাণে নাইট্রোজেন গ্যাস মিশে থাকে, ফলে এতে শতকরা মাত্র 10% ভাগ ক্লোরিণ থাকে।

ব্রোমিন

আণবিক সংকেত Br_2 ; স্ফুটনাংক 58·8 গলনাংক − 7·3 ; আণবিক গুরুত্ব 79·916 ; দ্রাব্যতা 20° তাপাংকে 1000 গ্রাম জলে 3·6 গ্রাম ; ঘনত্ব 0°C তাপে 3·19

13 76 আবিষ্কার ঃ

1826 খৃষ্টাব্দে বার্লাড সমুদ্র জল থেকে কেলাসনের দ্বারা সামুদ্রিক লবণ অপসারিত করে প্রাপ্ত জনয়িত্রী দ্রবকে ক্লোরিণাক্ত করে ব্রোমিন তৈরী করেন। এই জনয়িত্রী দ্রবতে (Mother liq or) যে $MgBr_2$ থাকে তা' থেকে ক্লোরিণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ব্রোমিন উৎপন্ন হয়।

$$MgBr_2 + Cl_2 = MgCl_2 + Br_2$$

13·7c প্রাপ্তি স্থান ঃ

ক্লোরিণের মত ব্রোমিনও প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। সমুদ্র জলে সোডিয়াম, পটাশিয়াম ও ম্যাগনেশিয়ামের ব্রোমাইড হিসাবে এবং স্টাসফুর্টে কার্নালাইট KCl, $MgCl_2$, $6H_2O$-এ ব্রোমিন পাওয়া যায়।

13.7d ল্যাবোরেটরী প্রস্তুতি ঃ

1. 5 গ্রাম সোডিয়াম ব্রোমাইড, 15 গ্রাম ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড এবং 100 সিসি 50 শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ একটি কাঁচের রিটর্টে সতর্কতার সঙ্গে উত্তপ্ত করা হয়। রিটর্টের মুখটি একটি গ্রাহকের সাথে সংযুক্ত থাকে এবং এই গ্রাহকটি জলের ধারায় শীতল করে রাখা হয়। ব্রোমিন বাষ্পাকারে বেরিয়ে আসে এবং ঘনীভূত হয়ে লাল তরলের আকারে গ্রাহকে সঞ্চিত হয়।

$$2KBr + MnO_2 + 3H_2SO_4 = 2KHSO_4 + MnSO_4 + 2H_2O + Br_2$$

এইভাবে প্রাপ্ত ব্রোমিনে সামান্য পরিমাণে ক্লোরিণ ও আয়োডিন অপদ্রব্য-রূপে থেকে যায়। এইভাবে প্রাপ্ত ব্রোমিনের সাথে পর্যায়ক্রমে (1) পটাশিয়াম ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণ (ক্লোরিণ দূর করার জন্য) ও (2) জিংক অক্সাইড (আয়োডিন দূর করার জন্য) মিশিয়ে পাতিত করা হয়। (3) সর্বশেষে আবার গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে পাতিত করলে বিশুদ্ধ ব্রোমিন পাওয়া যায়।

2. পটাশিয়াম ব্রোমাইড দ্রবণে ক্লোরিণ গ্যাস চালিত করলেও ব্রোমিন উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন ব্রোমিন পাতিত করে পৃথক করা হয় এবং পূর্বোক্ত বিশুদ্ধ করা হয়।

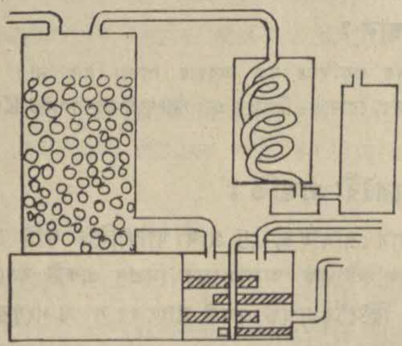
$$2KBr + Cl_2 = 2KCl + Br_2$$

13.7e শিল্প প্রস্তুতি ঃ কার্নালাইট থেকে ব্রোমিন

ব্রোমিনের অন্যতম উল্লেখযোগ্য উৎস হল কার্নালাইট KCl, $MgCl_2$, $6H_2O$. কার্নালাইটে সামান্য পরিমাণে KBr, $MgBr_2$, $6H_2O$ অপবস্তু (Impurity) হিসাবে থাকে। কার্নালাইটের উষ্ণ দ্রবণকে শীতল করলে প্রথমে পটাশিয়াম ক্লোরাইড

কেলাসিত হয়ে বেরিয়ে আসে এবং একে পৃথক করে নেবার পর বিটারেণ নামে যে জনয়িত্রী দ্রব (Mother liquor) পড়ে থাকে তাতে 0·25 শতাংশ ব্রোমিন $MgBr_2$ হিসাবে থাকে।

প্রকৃতক্ষেত্রে 60° তাপাংকে উষ্ণ এই জনয়িত্রী দ্রবকে পোরসিলেন বা মাটির বলে পূর্ণ একটি স্তম্ভের ওপর থেকে ঝর্ণাধারায় নিচের দিকে প্রবাহিত করা হয়। স্তম্ভের তলা থেকে স্টীম এবং ক্লোরিণের প্রবাহ উপর দিকে উঠতে থাকে। নিম্নগামী জনয়িত্রী দ্রবের ধারা ক্লোরিণের সংস্পর্শে এলে তা' থেকে বিক্রিয়ায় ব্রোমিন নির্গত হয়। বাষ্পীয় ব্রোমিন স্তম্ভের শীর্ষ থেকে একটি নল দিয়ে নির্গত হয়ে একটি শীতল



চিত্র নং ২৭

জলে নিমজ্জিত সর্পিল নলের ভেতর দিয়ে এসে ঘনীভূত হয়ে গ্রাহক পাত্রে সঞ্চিত হয়। ব্রোমিনের অবশিষ্ট বাষ্প, যা ঘনীভূত হয়নি, তা একটি আর্দ্র লৌহচূর্ণে ভর্তি টাওয়ারের মধ্য দিয়ে চালিত করা হলে অঘনীভূত ব্রোমিন বাষ্প আয়রণের সাথে শোধিত হয়ে ফেরাস ব্রোমাইডে পরিণত হয়। বিক্রিয়া-নিঃশেধিত তরল (spent liquor) সামান্য দ্রবীভূত ব্রোমিন সহ একটি প্রকোষ্ঠে সঞ্চিত হয়। এর মধ্য দিয়ে স্টীম প্রবাহিত করলে দ্রবীভূত ব্রোমিন স্টীমবাহিত হয়ে পোসিলেন পূর্ণ স্তম্ভের মধ্য দিয়ে পূর্বে বর্ণিত উপায়ে গ্রাহকে এসে সঞ্চিত হয়।

13.7f সমুদ্রজল থেকে ব্রোমিন :

ব্রোমিনের ক্রমবর্ধমান চাহিদা পূরনের জন্য আজকাল সমুদ্র জল থেকে ব্রোমিন নিষ্কাশন করা হচ্ছে। এই পদ্ধতিতে যৌগ থেকে ক্লোরিণের সাহায্যে ব্রোমিনকে মুক্ত মৌলে পরিণত করা হয়। কিন্তু প্রচুর পরিমাণে জল থাকায় দ্রবণের লঘুত্বের জন্য উৎপন্ন ব্রোমিন আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে ব্রোমাইড ও হাইপোব্রোমাইট সৃষ্টি করে।

$$Br_2 + H_2O \rightleftharpoons HBr + HOBr$$

এই অসুবিধা দূর করার জন্য সমুদ্রজলের সাথে টন প্রতি 0·25 পাউণ্ড সালফিউরিক অ্যাসিড আগে থেকে মিশিয়ে নেওয়া হয় এবং তারপর ব্রোমিনকে ক্লোরিণ দিয়ে প্রতিস্থাপিত করা হয়। মুক্ত ব্রোমিন বায়ু প্রবাহের দ্বারা জলের থেকে পৃথক করে নিয়ে সক্রিয় চারকোল দিয়ে শোধন করে নেওয়া হয়। পরে এর থেকে স্টীমের প্রবাহের দ্বারা ব্রোমিন পুনরুদ্ধার (Recover) করা হয়।

বায়ুপ্রবাহের দ্বারা যে ব্রোমিন পৃথক করা হয় তাকে উষ্ণ কষ্টিক সোডার দ্রবণে শোষিত করে ব্রোমাইড ও ব্রোমেটে পরিণত করা যেতে পারে। এই মিশ্রণে অ্যাসিড দিলে তা থেকে আবার ব্রোমিন পাওয়া যায়

$$3Br_2 + 6NaOH = NaBrO_3 + 5NaBr + 3H_2O$$

$$NaBrO_3 + 5NaBr + 3H_2SO_4 = 3Na_2SO_4 + 3Br_2 + 3H_2O$$

এই পদ্ধতিতে প্রতি 1800 গ্যালন সমুদ্রজল থেকে 1 পাউণ্ড ব্রোমিন পাওয়া যায়।

13.7g ধর্ম : 1. ব্রোমিন তীব্র বিষাক্ত, কটুগন্ধযুক্ত, অবক্ষয়ী ধর্মবিশিষ্ট এবং ঘন লাল রঙের ভারী তরল। সমস্ত অধাতুর মধ্যে একমাত্র ব্রোমিনই স্বাভাবিক তাপাংকে তরল।

2. (ক) ব্রোমিন 20° তাপাংকে শতকরা 3·6 ভাগ জলে দ্রবণীয় ; ঈষৎ-লাল এই দ্রবণ বা ব্রোমিন-জল অন্ধকারে মোটামুটি স্থায়ী, কিন্তু উজ্জ্বল সূর্যালোকে জলের থেকে জায়মান অক্সিজেন সৃষ্টি করে।

$$2Br_2 + H_2O = 2HBr + O_2$$

(খ) হিমশীতলতায় ব্রোমিনও জলের সাথে কেলাসিত $Br_2.8H_2O$ গঠন করে।

(গ) ক্লোরোফর্ম, ইথার, কার্বন-ডাই সালফাইড, অ্যালকোহল ইত্যাদি জৈব দ্রাবকে সহজেই দ্রবীভূত হয়।

3. লাল রঙের ব্রোমিন বাষ্প নিজে দাহ্য না হলেও অনেক পদার্থের (যেমন আর্সেনিক, ফসফোরাস, পটাশিয়াম প্রভৃতি) স্বতঃস্ফূর্ত দহনে সহায়তা করে ও তাদের ব্রোমাইড উৎপন্ন করে।

4. রাসায়নিক সক্রিয়তা ক্লোরিণের চেয়ে কম হলেও ব্রোমিন ও ক্লোরিণের মধ্যে বহু রাসায়নিক সাদৃশ্য দেখা যায়।

(ক) ব্রোমিন হাইড্রোজেনের সাথে ক্লোরিণের তুলনায় কম তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে। একমাত্র উত্তপ্ত অবস্থাতেই ব্রোমিন-হাইড্রোজেন যুক্ত হয়ে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড গঠন করতে পারে। হাইড্রোজেন গ্যাসের জ্বলন্ত শিখা ব্রোমিন বাষ্পে দগ্ধ হয়ে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড উৎপন্ন করে।

$$H_2 + Br_2 = 2HBr$$

(খ) ক্লোরিণের মতই ব্রোমিনও শীতল লঘু ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে ব্রোমাইড ও হাইপোব্রোমাইট এবং গাঢ় ও উষ্ণ ক্ষারীয় দ্রবণে ব্রোমাইড ও ব্রোমেট তৈরী করে।

$$Br_2 + 2NaOH \text{ (শীতল ও লঘু)} = NaBr + NaOBr + H_2O$$
$$3Br_2 + 6NaOH \text{(উষ্ণ ও গাঢ়)} = 5NaBr + NaBrO_3 + 3H_2O$$

(গ) ক্ষারীয় হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় ব্রোমিন ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$H_2O_2 + 2NaOH + Br_2 = 2NaBr + 2H_2O + O_2$$

(ঘ) ক্লোরিণের তুলনায় ব্রোমিন অপেক্ষাকৃত মৃদু জারক। এর সাথে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন সালফাইড থেকে সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয়, হাইড্রোজেন আয়োডাইড থেকে আয়োডিন নির্গত হয়। এর দ্বারা পটাশিয়াম আয়োডাইডের আয়োডিন প্রতিস্থাপিত হয় ও সালফিউরাস অ্যাসিড সালফিউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$2KI + Br_2 = 2KBr + I_2$$
$$2HI + Br_2 = 2HBr + I_2$$
$$H_2S + Br_2 = 2HBr + S$$
$$H_2SO_3 + Br_2 + H_2O = H_2SO_4 + 2HBr$$

(ঙ) ব্রোমিন জলে ক্লোরিণ জলের তুলনায় মৃদুতর বিরঞ্জন ক্ষমতা আছে। এ লিটমাসকে বর্ণহীন ও স্টার্চ কাগজকে হলুদ করতে পারে।

(ঘ) ক্লোরিণের মত অসম্পৃক্ত যৌগের সাথে দ্বিবন্ধনীতে (Double bond) যুক্ত হয়ে যুত যৌগ গঠন করতে পারে।

$$\begin{array}{c} CH_2 \\ \| \\ CH_2 \end{array} + Br = \begin{array}{l} CH_2Br \\ | \\ CH_2Br \end{array}$$

13.7h ব্যবহার ঃ

1 আলকাতরাজাত জৈব রঙ প্রস্তুতিতে, ঔষধ প্রস্তুতিতে, ফোটোগ্রাফি ও স্বর্ণ নিষ্কাশনে।

2. ইথিলীন ডাই ব্রোমাইড হিসেবে (অ্যান্টি-নকিং দ্রব্য হিসাবে পেট্রোলে), মিথাইল ব্রোমাইড হিসাবে অগ্নিনির্বাপকে ও বহু জৈব সংশ্লেষণে।

3. কাঁদানে গ্যাসে ; জীবাণুনাশক ও জারক হিসাবে ও গবেষণাগারে ব্রোমিন ব্যবহৃত হয়।

ঢাকনা আটকানো বোতলে ব্রোমিন রাখা হয়। ত্বকের সংস্পর্শে এলে ত্বকের ক্ষত অবক্ষয় ঘটে এবং এমন ঘটলে ক্ষত স্থান সঙ্গে সঙ্গে পেট্রোলিয়াম দিয়ে ধুয়ে ফেলতে হয়।

আয়োডিন

আণবিক সংকেত I_2, আণবিক গুরুত্ব 126·92, জলে দ্রবণীয়তা 0° তাপাংকে শতকরা মাত্র 0·016 ভাগ, গলনাংক 113·9°, স্ফুটনাংক 184·4.

13.8b আবিষ্কার ঃ

1812 খৃষ্টাব্দে সর্বপ্রথম কূর্তোয়া [Curtois] সামুদ্রিক উদ্ভিদ ভস্মের সাথে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে আয়োডিন প্রস্তুত করেন।

13.8c ল্যাবোরেটরী প্রস্তুতি ঃ ল্যাবোরেটরীতে সোডিয়াম বা পটাশিয়াম আয়োডাইড, ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড ও 50 শতাংশ সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে কাচের ছিপি আটকানো একটা কাচের রিটর্টে উত্তাপ দিলে যৌগ থেকে বাষ্পীয় আয়োডিন উৎক্ষিপ্ত হয়ে রিটর্ট সংলগ্ন জলে শীতল গ্রাহকে উজ্জ্বল কৃষ্ণ বর্ণের কেলাস রূপে জমা হয়।

13.8d শিল্পে উৎপাদন পদ্ধতি ঃ

1. **কেল্প থেকে ঃ** ল্যামিনেরিয়া ডিজিটাটা বা ল্যা-ষ্টেনোফাইলা নামে এক প্রকার সমুদ্রজাত উদ্ভিদ সমুদ্র জল থেকে আয়োডিন লবণ দেহসাৎ করে। এই উদ্ভিদগুলিকে মৃদু তাপে লবণের কোনো রূপান্তর না ঘটিয়ে সতর্কভাবে ভস্মীভূত করা হয়। এই উদ্ভিদভস্মই কেল্প (Kelp)। উষ্ণজলে দ্রাবিত (Lixiviated) করে কেলপের যে দ্রবণ পাওয়া যায় তাকে ফিলটার করে পরিস্রুত দ্রবণকে গাঢ়তর করলে অপেক্ষাকৃত কম দ্রবণীয় সোডিয়াম ও পটাশিয়ামের সালফেট ও ক্লোরাইড কেলাসিত হয়ে বেরিয়ে আসে ও অপেক্ষাকৃত বেশী দ্রবণীয় পটাশিয়াম ও সোডিয়ামের আয়োডাইড জনয়িত্রী দ্রবণে (Mother liquor) থেকে যায়। এই জনয়িত্রী দ্রবণকে ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড ও মোটামুটি গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সাথে মিশিয়ে ঢালাই লোহার পাত্রে উত্তাপ দেওয়া হয়। বিক্রিয়ামুক্ত আয়োডিন উর্ধপাতন দ্বারা বিশুদ্ধ করা হয়। 1 টন কেল্প থেকে প্রায় 12 পাউণ্ড আয়োডিন পাওয়া যায়।

$$MnO_2 + 2NaI + 3H_2SO_4 = 2NaHSO_4$$

13.8e ক্যালিচি থেকে ঃ

2. সোডিয়াম নাইট্রেট কেলাসনের দ্বারা অপসারণ করার পর ক্যালিচির জনয়িত্রী দ্রবণে লিটার প্রতি 3 গ্রাম হিসাবে সোডিয়াম আয়োডেট থাকে। এর সাথে পরিমিত পরিমাণে সোডিয়াম বাইসালফাইটের দ্রবণ মিশ্রিত করলে আয়োডিন পরিস্রাসিত (deposited) হয়। আয়োডিনকে পৃথক করে আসঞ্জিত (adhered) দ্রবণ চাপের সাহায্যে দূর করে বিশুদ্ধ করার পর উর্ধপাতনের দ্বারা বিশুদ্ধ করা হয়। সোডিয়াম বাই সালফেট থেকে জাত অম্লতার ফলে হাইড্রায়োডিক ও

আয়োডিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় এবং এদের পরস্পরের বিক্রিয়ায় আয়োডিন নির্মুক্ত হয়।

$$5NaIO_3 + 15NaHSO_3 = 5NaI + 15NaHSO_4$$
$$NaIO_3 + 5NaI + 6NaHSO_4 = HIO_3 + 5HI + 6Na_2SO_4$$
$$HIO_3 + 5HI = 3I_2 + 3H_2O$$
$$6NaIO_3 + 15NaHSO_3 = 3I_2 + 3H_2O + 9NaHSO_4 + 6Na_2SO_4$$

পেট্রোলিয়াম ব্রাইন থেকে

(ক) খনিজ তেলের উৎস থেকে পাওয়া পেট্রোলিয়াম ব্রাইন থেকে সক্রিয় চারকোলের সাহায্যে আয়োডিন নিষ্কাশন করা যেতে পারে। এই সক্রিয় চারকোল পদ্ধতিতে প্রথম পর্যায়ে ব্রাইনকে সোডিয়াম নাইট্রাইট ও সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে বিক্রিয়া করালে আয়োডিন নিক্রান্ত হয়।

$$2NaNO_2 + 2NaI + 4H_2SO^4 = 4NaHSO_4 + I_2 + 2H_2O$$

আয়োডিনের আনুপাতিক পরিমাণ অত্যন্ত কম থাকায় দ্রবণকে সক্রিয় চারকোল দিয়ে মন্থিত করলে মুক্ত আয়োডিন বহিঃধৃত হয়ে যায়। এই সক্রিয় চারকোলকে ফিলটার করে পৃথক করে উষ্ণ ক্ষারীয় দ্রবণ সহযোগে বিক্রিয়া করালে আয়োডিন আয়োডেট ও আয়োডাইডে পরিণত হয়।

$$3I_2 + 6NaDH = 5NaI + NaIO_3 + 3H_2O$$

পরবর্তী পর্যায়ে এই দ্রবণকে বাষ্পায়নের দ্বারা গাঢ়তর করে অম্লাক্ত করলে আয়োডিন নির্মুক্ত হয় এবং একে ঊর্ধপাতিত করে ঘণীভূত করে মৃন্ময় গ্রাহকে সংগ্রহ করা হয়। তবে 1934 সালের পর থেকে এ পদ্ধতির ব্যবহার প্রায় উঠে গেছে।

(খ) অপেক্ষাকৃত আধুনিক এক পদ্ধতিতে 10 লক্ষ ভাগ জলে 60-65 ভাগ আয়োডিন সমন্বিত পেট্রোলিয়াম ব্রাইন সালফিউরিক অ্যাসিড দিয়ে অম্লাক্ত করে ক্লোরিণ গ্যাসের তীব্র ধারা দ্বারা অণুবিদ্ধ (inject) করা হয়। বিক্রিয়া-উদ্ভূত আয়োডিন কণা বায়ুপ্রবাহের দ্বারা উড়িয়ে পৃথক করা হয়। আয়োডিন ভারাক্রান্ত বাতাস থেকে সালফিউরিক ও হাইড্রায়োডিক অ্যাসিডের মিশ্র দ্রবণের দ্বারা আয়োডিনের শোষণ করিয়ে আয়োডিনকে বিযুক্ত করা হয়। উল্লিখিত মিশ্র দ্রবণে অবিরত সালফার ডাই অক্সাইডের প্রবাহ চালিত করা হয়। এর ফলে আয়োডিন SO_2 দ্বারা বিজারিত হয়ে হাইড্রায়াডিক অ্যাসিড তৈরী করে।

$$I_2(\text{বাতাস}) + SO_2 + H_2O = 2HI + H_2SO_4$$

হাইড্রায়োডিক অ্যাসিড ও সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্র তরলে ক্লোরিণ গ্যাস চালিত করলে আয়োডিন অধঃক্ষিপ্ত হয় ও একে ফিলটার করে পৃথক করা হয়।

$$2HI + Cl_2 = 2HCl + I_2$$

প্রাপ্ত আয়োডিনকে প্রথমে 60% সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে (জল দূর ও জৈব পদার্থ অঙ্গারীভূত করার জন্য) নেওয়া হয়। তারপর ঊর্ধপাতনের সাহায্যে বিশুদ্ধ করা হয়।

(গ) অন্য এক পদ্ধতিতে পেট্রোলিয়াম ব্রাইন থেকে আয়োডিনকে প্রথমে সিলভার আয়োডাইড রূপে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। পরে একে ফেরাস আয়োডাইডে পরিণত করার পর তার সাথে ক্লোরিণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে আয়োডিন বার করা হয়। পুনরুদ্ধারিত সিলভারকে সিলভার নাইট্রেটে পরিণত করে বারবার ব্যবহার করা হয়।

13.8g বিশোধন ঃ—অশোধিত আয়োডিনে যে সব অপবস্তু থাকে সেগুলি হল জলীয় বাষ্প, এবং আয়োডিন ক্লোরাইড, ব্রোমাইড ও সায়ানাইড। শেষোক্ত তিনটিকে তাদের উদ্‌বায়ী ধর্মের জন্য ঊর্ধপাতন দ্বারা দূর করা যায়। এ জন্য উত্তমরূপে চূর্ণিত অশোধিত আয়োডিন চুন (যা জলীয় বাষ্প দূর করার জন্য ব্যবহৃত হয়) ও পটাশিয়াম আয়োডাইড মিশিয়ে (ক্লোরিণ, ব্রোমিন ও সায়ানোজেন দূর করার জন্য) ভালভাবে পেষণ করা হয়। এর থেকে উর্ধপাতনের দ্বারা বিশুদ্ধ আয়োডিন সংগ্রহ করা হয়।

অধিকতর বিশুদ্ধ করতে হলে উৎক্ষেপনে প্রাপ্ত আয়োডিনকে পটাশিয়াম আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণে প্রথম দ্রবীভূত করে পরে জল মিশিয়ে লঘু করলে আয়োডিন অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই আয়োডিনকে বায়ুশূন্য শোষকাধারে সালফিউরিক অ্যাসিডের ওপর রেখে বিশুষ্ক করা হয়।

13.8h ধর্ম ঃ 1. গাঢ় ধূসর উজ্জ্বল কেলাস ; 700°c পর্যন্ত বাষ্পের আণবিক সংকেত I_2 কিন্তু তার চেয়ে বেশী তাপমাত্রায় $I_2 \rightleftarrows 2I$ এই তাপ বিয়োজন ঘটে।

2. জলে অত্যন্ত কম দ্রবণীয় (5000 ভাগ জলে মাত্র 1 ভাগ) কিন্তু পটাশিয়াম আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণে সহজেই দ্রবীভূত হয় ও দ্রবণের রঙ KI_3 যৌগের জন্য বাদামী হয়ে যায়।

$$KI + I_2 \rightleftarrows KI_3$$

আয়োডিন সহজেই অ্যালকোহল, ইথার, বেনজিন, ক্লোরোফর্ম ও কার্বন ডাই সালফাইডে দ্রবীভূত হয়। দ্রবণের রং যথাক্রমে অ্যালকোহল ও ইথারে বাদামী, বেনজিন ও ক্লোরোফর্মে রক্তবেগনী (purple) ও কার্বন ডাই সালফাইডে বেগনী।

3. অন্যান্য হ্যালোজেন মৌলের সাথে আয়োডিনের যথেষ্ট সাদৃশ্য আছে, কিন্তু অন্যদের তুলনায় আয়োডিন অনেক কম সক্রিয়।

(i) ক্লোরিণের মত আয়োডিনও নিজে দাহ্য না হলেও সাদা ফসফোরাস, আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি ইত্যাদির দহনে সহায়তা করে ; অবশ্য বিক্রিয়া অপেক্ষাকৃত অনেক কম তীব্রভাবে হয়।

$$2P + 3I_2 \rightleftarrows 2PI_3.$$

প্রায় সমস্ত ধাতুর সাথে সরাসরিভাবে এবং অধাতুর মধ্যে কেবলমাত্র হাইড্রোজেন, ফসফোরাস ও হ্যালোজেনের সাথে আয়োডিন বিক্রিয়া করে। শেষোক্ত ক্ষেত্রে আন্তঃ-হ্যালোজেন যৌগ যথা IF_7, IF_5, ICl, ICl_3 ও IBr ইত্যাদি গঠিত হয়।

মারকারি ও আয়োডিন একত্রে একটি খলে পেষণ করলে মারকারির পরিমাণ বেশী থাকলে সবুজ Hg_2I_2, মারকিউরাস আয়োডাইড ও আয়োডিনের পরিমাণ বেশী হলে সিঁদুরের মত লাল HgI_2 গঠিত হয়।

$$Hg + I_2 = HgI_2$$

(ii) হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়ার প্রবণতা অন্যান্য হ্যালোজেনের তুলনায় আয়োডিনের অনেক কম। হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের মিশ্রণকে প্লাটিনাম অনুঘটক দিয়ে উত্তপ্ত করলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড তৈরী হয়; বিক্রিয়াটি উভয়মুখী :

$$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI$$

(iii) **ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া :** ক্লোরিণের মতই শীতল লঘু ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে আয়োডাইড ও হাইপোআয়োডাইট এবং গাঢ় উষ্ণ ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে আয়োডাইড ও আয়োডেট উৎপন্ন হয়। রেখে দিলে হাইপোআয়োডাইট দ্রুত আয়োডেট ও আয়োডাইডে পরিণত হয়

$$I_2 + 2KOH\ (\text{শীতল, লঘু}) = KI + KOI + H_2O$$

$$3I_2 + 6KOH\ (\text{উষ্ণ, গাঢ়}) = 5KI + KIO_3 + 3H_2O$$

হাইড্রোজেন পারক্সাইডের ক্ষারীয় দ্রবণে আয়োডিন দ্রবীভূত হয় ও অক্সিজেন নির্গত হয়।

$$H_2O_2 + 2NaOH + I_2 = 2NaI + 2H_2O + O_2$$

(iv) আয়োডিন মৃদু জারক; ভাসমান আয়োডিনের সূক্ষ্ম কণাযুক্ত জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড চালনা করলে সালফার যৌগমুক্ত হয়ে আসে। আয়োডিন—আস যোজ্যতাযুক্ত যৌগকে—ইক যোজ্যতাযুক্ত যৌগে পরিণত করে।

$$I_2 + H_2S = 2HI + S$$

$$H_2SO_3 + I_2 + H_2O = 2HI + H_2SO_4$$

$$H_3AsO_3 + I_2 + H_2O \rightleftarrows H_3AsO_4 + 2HI$$

4. জলে অদ্রবণীয়তার জন্য আয়োডিনের কোনো বিরঞ্জক ধর্ম নেই।

5. পটাশিয়াম ক্লোরাইড বা ব্রোমাইডের সাথে এর কোনো বিক্রিয়া নেই; কিন্তু ক্লোরিণ বা ব্রোমিন যৌগ থেকে আয়োডিনের নিমুক্তি ঘটাতে পারে।

$$2KI + X_2 = 2KX + I_2\ (X = Cl \text{ বা } Br)$$

এর থেকে প্রমাণিত হয় যে ক্লোরিণ বা ব্রোমিন আয়োডিনের থেকে বেশী সক্রিয়। কিন্তু পটাশিয়াম ক্লোরেটের ক্লোরিণকে আয়োডিন প্রতিস্থাপিত করতে পারে।

$$2KClO_3 + I_2 = 2KIO_3 + Cl_2$$

6. সোডিয়াম থায়োসালফেটের সাথে বিক্রিয়ায় আয়োডিন সোডিয়াম আয়োডাইড ও সোডিয়াম টেট্রাথায়োনেট গঠন করে। মাত্রিক বিশ্লেষণের আয়োডোমিতি শাখায় এই বিক্রিয়ার বহুল প্রয়োগ আছে।

$$2S_2O_3^{2-} + I_2 = S_4O_6^{2-} + 2I^-$$

7. গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের দ্বারা জারণে আয়োডিন আয়োডিক অ্যাসিডে পরিণত হয় ; অন্য হ্যালোজেন হয় না।

$$3I_2 + 10HNO_3 = 6HIO_3 + 10NO + 1H_2O$$

8. স্টার্চের সঙ্গে আয়োডিনের বিক্রিয়ায় ঘন নীল রঙের উদ্ভব হয়। উত্তাপে এই নীল রঙ অদৃশ্য হয় ; শীতল করলে তা আবার ফিরে আসে।

13. 8i. ব্যবহার : 1. বিভিন্ন ঔষধে, রঙে, ক্ষত পরিচর্যায় ব্যবহৃত আয়োডেফর্মের প্রস্তুতিতে, ও টিঞ্চার আয়োডিন হিসাবে জীবানুনাশক রূপে। (পটাশিয়াম আয়োডাইড আয়োডিন ও জল প্রত্যেকটি 1 আউন্স ও 1 পাইন্ট রেকটিফায়েড স্পিরিটের মিশ্রন)।

2. আয়োডোমিতি ও জৈব সংশ্লেষণে

3. প্রাণীদেহে প্রাণ রাসায়নিক ক্রিয়ায় (Biochemical reactions) আয়োডিন যৌগের গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে। থাইরয়েড গ্রন্থি থেকে থাইরক্সিন নামে এক প্রকার আয়োডিনের যৌগ নিঃসৃত হয়। দেহে আয়োডিনের অভাবে গলগণ্ড হয় এবং এর প্রতিকারক হিসাবে খাদ্য লবণের সাথে 0.023% পটাশিয়াম আয়োডাইডের মিশ্রণ সেবনের নির্দেশ দেওয়া হয়। ঝিনুক বা কডলিভার তেলেও আয়োডিনের জৈব যৌগ আছে।

13.8j. উৎস :

1. সমুদ্র জলে শতকরা 0.001 ভাগ আয়োডিন আয়োডাইড হিসাবে থাকে। সামুদ্রিক জলজ উদ্ভিদ ল্যামেনিরিয়া ডিজিটাটা বা ল্যা. স্টেনোফাইলা ওই আয়োডিন আত্মসাৎ করে। বাত্যাতাড়িত হয় উপকূলে ভেসে আসে। এই সব জলজ উদ্ভিদ পোড়ালে যে ভস্ম পাওয়া যায় তাতে শতকরা। ভাগ আয়োডিন যৌগ অবস্থায় থাকে ; এরই নাম কেল্প।

2. ক্যালিচি : ক্যালিচি বা অশোধিত চিলি সল্টপিটারের মধ্যে শতকরা 0.2 ভাগ সোডিয়াম আয়োডেট থাকে।

3. পেট্রোলিয়াম ব্রাইন : প্রতি দশ লক্ষ ভাগে 30—70 ভাগ আয়োডাইড সমন্বিত পেট্রোলিয়াম ব্রাইন বর্তমানে আয়োডিনের একটি উল্লেখযোগ্য উৎস। পেট্রোলিয়াম ব্রাইন থেকে আয়োডিন পাবার ফলে এর দাম পূর্বের তুলনায় অর্ধেকে নেমে এসেছে।

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড

সংকেত HCl ; আণবিক ওজন 36.465, স্ফুটনাংক – 85°c গলনাংক – 111.4 ; দ্রবণীয়তা—0° তাপাংকে 1c.c জলে 525c.c ও 15° তাপাংকে 1c.c জলে 458c.c.

13.9a ইতিহাস : হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড সম্পর্কে অষ্টম শতাব্দীতে গেবার সর্বপ্রথম অবহিত হন। 1727 খৃষ্টাব্দে প্রিস্টলে এই গ্যাস সর্বপ্রথম প্রস্তুত করেন।

এই গ্যাসটি যে কোন মৌলিক পদার্থ নয়, হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের যৌগ, 1810 খৃষ্টাব্দে ডেভি, তা নিরূপণ করেন।

প্রস্তুতি :

13 9b ল্যাবোরেটরী পদ্ধতি :

1. ল্যাবোরেটরীতে সোডিয়াম ক্লোরাইড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড গ্যাস পাওয়া যায়। বিক্রিয়াটি দুটি স্তরে ঘটে।

(i) $NaCl + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HCl$ (150° থেকে 200°C)

(iii) $NaHSO_4 + NaCl = Na_2SO_4 + HCl$ (500°C-এর উর্ধে)

এর জন্য একটি থিসল ফানেল ও নির্গমনলযুক্ত ফ্লাস্কে সোডিয়াম ক্লোরাইড নিয়ে মোটামুটি গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ফানেল দিয়ে ঢেলে দেওয়া হয়। এর ফলে বিক্রিয়া ঘটে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড গ্যাস বেরিয়ে আসে। বিক্রিয়ার গতি মন্থর হলে মাঝে মাঝে ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করা হয়। প্রাপ্ত গ্যাসকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্য দিয়ে চালিত করে শুষ্ক করার পর বায়ুর উর্ধাপসারণ বা পারদের অপসারণের দ্বারা গ্যাস সংগ্রহ করা হয়।

2. সবচেয়ে বিশুদ্ধ হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড পাওয়া যায় সিলিকন টেট্রা-ক্লোরাইডের সাথে জলের বিক্রিয়া ঘটিয়ে

$$SiCl_4 + 4H_2O = Si(OH)_4 + 4HCl$$

ধর্ম : 1. ঝাঁঝালো বর্ণহীন, বায়ুতে ধূমায়মান এই গ্যাস বায়ুর চেয়ে 1·27 গুণ ভারী ও জলে অত্যন্ত দ্রবণীয়।

2. জলীয় দ্রবণে এই এক ক্ষারীয় অ্যাসিড বহু ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ধাতব ক্লোরাইড গঠন করে। গ্যাসীয় অবস্থায়ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বহু ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে অনার্দ্র ধাতব ক্লোরাইড উৎপন্ন করে। গ্যাসীয় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে সোডিয়াম জ্বলতে থাকে।

কপার গাঢ় তপ্ত অ্যাসিডে ধীরে ধীরে দ্রবীভূত হয় ও সিলভারের সাথে বিক্রিয়া গাঢ় তপ্ত অ্যাসিডে কেবলমাত্র অক্সিজেনের উপস্থিতিতেই হয়ে থাকে।

$$2Cu + 8HCl = H_2 + 2H_3CuCl_4$$

$$4Ag + 4HCl + O_2 = 4AgCl + 2H_2O$$

2. বিভিন্ন ধাতব অক্সাইড, হাইড্রক্সাইড এর সাথে বিক্রিয়া করে ধাতব লবণ গঠন করে, কার্বনেটের থেকে কার্বন ডাই অক্সাইড উৎপন্ন করে ও অ্যামোনিয়ার সাথে সামান্য আর্দ্রতার উপস্থিতিতে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড গঠন করে।

$CuO + 2HCl = CuCl_2 + H_2O$; $NH_3 + HCl = NH_4Cl$

$NaOH + HCl = NaCl + H_2O$; $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2$

4. ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড, পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট ইত্যাদির দ্বারা জারিত হয়ে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড থেকে ক্লোরিণ উৎপন্ন হয়।

$$MnO_2 + 4HCl = MnCl_2 + 2H_2O + Cl_2$$

ব্যবহার: রাসায়নিক শিল্পে সালফিউরিক অ্যাসিডের পরই গুরুত্বের দিক থেকে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের স্থান। এর প্রধান প্রধান ব্যবহারগুলি হল 1 ধাতব ক্লোরাইড প্রস্তুতিতে 2 রঙ শিল্প ও ক্যালিকো প্রিনটিং-এ 3. ঔষধাদিতে 4. গ্যালভানাইজিং বা এনামেল করার আগে যাকে গ্যালভানাইজ বা এনামেল করা হবে তার তলের অক্সাইড পরিষ্কার করার জন্য 5. কার্টিলেজ থেকে গ্লু ও স্টার্চ থেকে গ্লুকোজ তৈরী করার কাজে এবং 6. ল্যাবোরেটরীতে বিকারক হিসাবে।

শিল্প-উৎপাদন পদ্ধতি

13.9c সাধারণ লবণ থেকে:

শিল্পে সাধারণ লবণ থেকে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে একটি কাস্ট আয়রনের পাত্রে সোডিয়াম ক্লোরাইড বা সাধারণ লবণ ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ায় নির্গত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের গ্যাসকে বড় বড় চীনামাটির জলপূর্ণ পাত্রে প্রবাহিত করে শোষণ করানো হয় ফলে চিনামাটির পাত্রগুলিতে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ তৈরী হয়।

13.9d সংশ্লেষণ পদ্ধতি: বর্তমানে ব্যবহৃত এই পদ্ধতিতে হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের প্রত্যক্ষ সংযোগ ঘটিয়ে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়। এই পদ্ধতিতে কস্টিক সোডার তড়িতবিশ্লেষণে উপজাত হিসাবে প্রাপ্ত ক্লোরিণ ব্যবহার করা হয়। সম আয়তনিক পরিমাণের চেয়ে সামান্য কিছু বেশী হাইড্রোজেন ও ক্লোরিণের মিশ্রণ অক্সি-হাইড্রোজেন ব্লোপাইপের সদৃশ একটি বার্ণারের মধ্য দিয়ে একটি সিলিকার ইটের তৈরী প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়। বিক্রিয়া-জাত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডকে একটি শীতল করা কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করার পর এক স্তম্ভের মধ্যে প্রেরণ করা হয়। সেখানে উপর থেকে একে জলের ধারার সাহায্যে দ্রবীভূত করে সম্পৃক্ত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়। এ' ভাবে প্রাপ্ত অ্যাসিড অনেক বিশুদ্ধ।

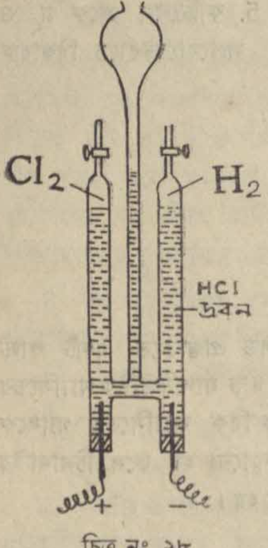
বাণিজ্যিক হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের ঘনত্ব 1.14 ও এতে 28% অ্যাসিড থাকে। আরও গাঢ় অ্যাসিডের ঘনত্ব 1.18। এতে অ্যাসিডের পরিমাণ 36%।

13.10 হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের আয়তনিক সংযুতি :

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের আয়তনিক সংযুতি—বিশ্লেষণ বা সংশ্লেষণ যে কোনো পদ্ধতিতেই নির্ণয় করা যায়।

1. **বিশ্লেষণ পদ্ধতি :** গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণকে তড়িত-বিশ্লেষণ করলে অ্যানোডে ক্লোরিণ ও ক্যাথোডে হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

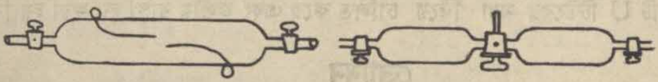
একটি ত্রি-বাহু বিশিষ্ট ভোল্টামিটারে তড়িতবিশ্লেষণ করা হয়। মধ্যের বাহুটিতে একটি ফানেল থাকে ও এটির মধ্যে অ্যাসিড সঞ্চিত থাকে। পাশের দুটি অংশাঙ্কিত টিউবের তলার দিকে দুটি গ্যাস কারবন ইলেকট্রোড সংযুক্ত থাকে। এই ইলেকট্রোডের মাধ্যমে তড়িত সঞ্চালন করলে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন নির্গত হয় কিন্তু ক্লোরিণ জলে অত্যন্ত দ্রবণীয় বলে জলীয় দ্রবণ ক্লোরিণে সম্পৃক্ত, না হওয়া পর্যন্ত ক্লোরিণ নির্গত হয় না। যতক্ষণ পর্যন্ত দ্রবণটি ক্লোরিণে সম্পৃক্ত না হয় ততক্ষণ তড়িত বিশ্লেষণে জাত হাইড্রোজেনকে ক্যাথোড টিউবের ছিপি খুলে বার করে দেওয়া হয়। দ্রবণ ক্লোরিণে সম্পৃক্ত হলে গ্যাস সংগ্রহ করা আরম্ভ হয়। দেখা যাবে যে ভোল্টামিটারের দুই টিউবে (ক্যাথোড ও অ্যানোড টিউবে) সমআয়তনে হাইড্রোজেন ও ক্লোরিণ সঞ্চিত হয়েছে। অর্থাৎ 1 আয়তন হাইড্রোজেন ও 1 আয়তন ক্লোরিণ এসেছে $(1+1)=2$ আয়তন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড থেকে।



চিত্র নং ২৮

2. **সংশ্লেষণ পদ্ধতি :** দুই দিকে সম আয়তন বিশিষ্ট দুটি কাচের বাল্‌বযুক্ত একটি যন্ত্র নেওয়া হল। বাল্‌ব দুটির সংযোগকারী নলের মধ্যে একটি ও বাল্‌ব দুটির দুপ্রান্তে দুটি স্টপকক আছে। মাঝের স্টপককটি বন্ধ করে বাল্‌ব দুটিকে যথাক্রমে হাইড্রোজেন ও ক্লোরিণে পূর্ণ করা হল। দু'প্রান্তের স্টপকক দুটিকে বন্ধ করে বিক্ষিপ্ত সূর্যালোকে মাঝের স্টপককটিকে ধীরে ধীরে খুলে দেওয়া হল। উভয় গ্যাস পরস্পর বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গঠন করল। পারদপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডুবিয়ে নিমজ্জিত প্রান্তের স্টপককটি খুলে দিলে কোনো পরিবর্তন দেখা যাবে না, কিন্তু জলের মধ্যে ডুবিয়ে নিমজ্জিত স্টপককটি খুলে দিলে দেখা যাবে জল সমস্ত যন্ত্রটিকে পূর্ণ করে ফেলেছে অর্থাৎ এর মধ্যে আর কোনো হাইড্রোজেন নাই। এই জলীয় দ্রবণ পটাশিয়াম আয়োডাইডের দ্রবণ থেকে আয়োডিন নির্মুক্ত করে না ; এ' থেকে প্রমাণিত হয় যে এতে মুক্ত ক্লোরিণ নেই। লিটমাসের পরীক্ষা থেকে বোঝা যায়

দ্রবণটি অ্যাসিড এবং সিলভার নাইট্রেটের সাথে এই দ্রবণ সাদা অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে। অর্থাৎ দ্রবণটি হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের। যেহেতু দুটি বালবের আয়তনই সমান



চিত্র নং ২৯

ছিল, সুতরাং বলা যেতে পারে সম আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরিণ পরস্পর বিক্রিয়া করে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করেছে। অর্থাৎ

2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড = 1 আয়তন হাইড্রোজেন + 1 আয়তন ক্লোরিণ

বা 1 অণু হাইড্রোজেন ক্লোরাইড = $\frac{1}{2}$ অণু হাইড্রোজেন + $\frac{1}{2}$ ক্লোরিণ

= 1 পরমাণু হাইড্রোজেন + 1 পরমাণু ক্লোরিণ

(যেহেতু হাইড্রোজেন ও ক্লোরিণ অণু দ্বিপারমানবিক।)

অতএব হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সংকেত = HCl.

হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড

হাইড্রোক্লোরিক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের মত হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড ব্রোমাইড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করা যায় না। কারণ সালফিউরিক অ্যাসিড বিক্রিয়াজাত হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডকে জারিত করে ব্রোমিন উৎপন্ন করে।

$$2HBr + 2H_2SO_4 = 2KHSO_4 + 2HBr$$
$$2HBr + H_2SO_4 = Br_2 + SO_2 + 2H_2O$$

13.11a. ল্যাবোরেটরী প্রস্তুতি :

ল্যাবোরেটরীতে লাল ফসফোরাস ও জলের মিশ্রণের সাথে ব্রোমিনের বিক্রিয়া ঘটিয়ে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড তৈরী করা হয়। বিক্রিয়ার প্রথম পর্বে উৎপাদিত ফসফোরাস ট্রাই বা পেন্টাব্রোমাইড জলের দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড এবং ফসফোরাস ও ফসফোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

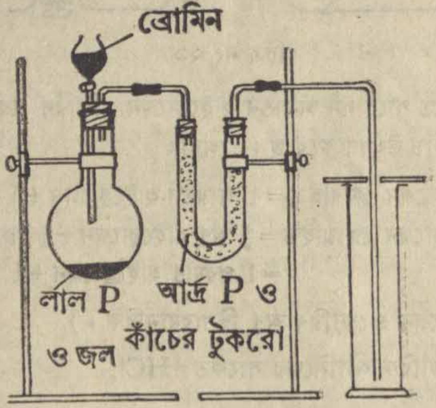
$2P + 3Br_2 = 2PBr_3$; $2P + 5Br_2 = 2PBr_5$

$PBr_3 + 3H_2O = H_3PO_3$ (ফসফোরাস অ্যাসিড) $+ 3HBr$

$PBr_5 + 5H_2O = H_3PO_4$ (ফসফোরিক অ্যাসিড) $+ 5HBr$

একটি বিন্দুপাতী ফানেল ও নির্গম নল সমন্বিত ফ্লাস্কে লাল ফসফোরাস ও জলের মিশ্রণ নেওয়া হল। ফানেল থেকে সতর্কতার সঙ্গে ব্রোমিন যোগ করলে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড নির্গত হয়। শেষের দিকে বিক্রিয়ার গতি মন্থর হয়ে গেলে ফ্লাসকটিকে

সামান্য উত্তপ্ত করতে হয়। প্রাপ্ত গ্যাসীয় হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডকে আসক্তিত (adhered) ব্রোমিন থেকে মুক্ত করা হয় সিক্ত কাচের টুকরো ও লাল ফসফোরাস পূর্ণ একটি U টিউবের মধ্য দিয়ে চালিত করে এবং জলীয় বাষ্প দূর করা হয় বিগলিত



চিত্র নং ৩০

ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড পূর্ণ আর একটি U টিউবের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করে। এই গ্যাসকে বায়ুর উর্ধাপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা যায় অথবা ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড বা ব্রোমাইড দিয়ে শুষ্ক করে পারদের অপসারণ দ্বারাও সংগ্রহ করা। এই গ্যাসকে জলের মধ্যে প্রবাহিত করলে হইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়।

জলীয় দ্রবণ পাওয়ার আর একটি উপায় হল ব্রোমিন জলের মধ্যে H_2S বা SO_2 গ্যাস চালনা। প্রথম ক্ষেত্রে বিক্রিয়াজাত সালফার ফিলটার করে পৃথক করে ফেলা হয়।

$$H_2S + Br_2 = 2HBr + S$$
$$SO_2 + Br_2 + 2H_2O = HBr + H_2SO_4$$

13.11b ধর্ম ঃ 1. হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের মতই বাতাসের চেয়ে ভারী, তীব্র ঝাঁঝালো গ্যাস। 0° তাপাংকে 1 আয়তন জলে 60·0 আয়তন হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড গ্যাস দ্রবণীয়। 47·6% হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড সমম্বিত জল ও এই অ্যাসিডের নির্দিষ্ট স্ফুটনাংক 126°।

2. জলীয় দ্রবণ তীব্র একক্ষারীয় অ্যাসিড ; হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের মতই বিক্রিয়া করে ধাতব ব্রোমাইড গঠন করে।

3. হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের চেয়ে কম স্থায়ী এই অ্যাসিড অপেক্ষাকৃত সহজে জারিত হয়ে যায়। সূর্যালোকে জলীয় দ্রবণ জারিত হয়ে ভেঙে যায়।

$$4HBr + O_2 = 2H_2O + 2Br_2$$

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের মতই ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ইত্যাদি জারকের দ্বারা জারিত হয়। এ'ছাড়াও ক্লোরিন বা গাঢ় অ্যাসিডের দ্বারাও এই অ্যাসিড জারিত হতে পারে—কিন্তু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের অনুরূপ বিক্রিয়া হয় না।

13.11c পটাশিয়াম ব্রোমাইড ঃ

প্রস্তুতি ঃ 1. তপ্ত কস্টিক পটাশের দ্রবণের সাথে ব্রোমিনের বিক্রিয়ার ফলে পটাশিয়াম ব্রোমাইড ও ব্রোমেট গঠিত হয়। এই দ্রবণকে বাষ্পায়িত করে শুকিয়ে চারকোল পাউডার মিশ্রিত করে দহন করলে ব্রোমেট ব্রোমাইডে পরিণত হয়। জলে সমস্ত অংশকে দ্রবীভূত করে. দ্রবণকে গাঢ় করলে পটাশিয়াম ব্রোমাইডের কেলাস পাওয়া যায়।

2 আয়রন ব্রোমাইডের সাথে পটাশিয়াম কার্বনেট দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটালে আয়রন হাইড্রক্সাইড হিসেবে অধঃক্ষিপ্ত হয়। একে ফিলটার করে পরিস্রুত করার পর দ্রবণকে কেলাসিত করে পটাশিয়াম ব্রোমাইড পাওয়া যায়।

$$Fe_3Br_8+4K_2CO_3+4H_2O=Fe\,(OH)_3+8KBr+4CO_3$$

আয়রন ব্রোমাইড পাওয়া যায় সিক্ত লৌহচূর্ণ ও ব্রোমিন বাষ্পের বিক্রিয়া ঘটিয়ে।

পটাশিয়াম ব্রোমাইড ফটোগ্রাফি ও ঔষধ তৈরীতে ব্যবহার হয়। অ্যামোনিয়াম ব্রোমাইড তৈরী করা হয় অ্যামোনিয়া ও ব্রোমিনের বিক্রিয়ায়, $8NH_3+3Br_2=N_2+6NH_4Br$.

হাইড্রাআয়োডিক অ্যাসিড

13.12a প্রস্তুতি ঃ 1. হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের বাষ্প মিশ্রণকে প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করলে হাইড্রোয়োডিক অ্যাসিড তৈরী হয়। এই অ্যাসিড তাপে দ্রুত বিয়োজিত হয়ে যায়।

$$H_2+I_2\rightleftharpoons HI.$$

2. হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের প্রস্তুত প্রণালীর মত সদৃশ প্রণালীতে হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড তৈরী করা যায়। এখানে আয়োডিন ও লাল ফসফোরাসের মিশ্রণের মধ্যে সতর্ক ভাবে জল মেশালে প্রথমে ফসফোরাস ট্রাই আয়োডাইড হয় এবং এই যৌগ আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড গঠিত হয়। এই গ্যাসকে বাতাসের উর্ধাপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়। কিন্তু পারদের সঙ্গে এর বিক্রিয়া হবার ফলে পারদের অপসারণ দ্বারা এই অ্যাসিড সংগ্রহ করা যায়।

$$PI_3+3H_2O=3HI+H_3PO_3$$

3. পটাশিয়াম আয়োডাইড ও ফসফোরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করেও হাইড্রোয়োডিক অ্যাসিড তৈরী করা যায়।

$$3KI + H_3PO_4 = K_3PO_4 + 3HI$$

এখানে সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহার করা যায় না কারণ সালফিউরিক অ্যাসিড হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে।

4. হাইড্রোজেন সালফাইড ও আয়োডিনের বিক্রিয়াতেও হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড তৈরী হয়।

13.12b ধর্ম : 1. হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের মতই ধর্মবিশিষ্ট। বর্ণহীন, বাতাসের চেয়ে ভারী কটুগন্ধী এই গ্যাসও জলে খুব দ্রবণীয়। 0° তাপাংকেও 90 শতাংশ জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। জল ও HI-এর মিশ্রণের (57% HI সমন্বিত) স্ফুটনাংক 126°।

2. সূর্যালোকে বা উত্তাপ দিলে দ্রুত এই অ্যাসিড হাইড্রোজেন ও আয়োডিনে ভেঙ্গে যায়।

3. তীব্র বিজারক এই অ্যাসিড বাতাস, নাইট্রিক অ্যাসিড, হাইড্রোজেন পারক্সাইড, ক্লোরিণ, সালফিউরিক অ্যাসিড প্রভৃতি দ্বারা দ্রুত জারিত হয়। হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডের বর্ণহীন দ্রবণ বাতাসে রেখে দিলে আয়োডিন নির্মুক্ত হয় ও দ্রবণ বাদামী হয়ে যায়।

$$4HI + O_2 = 2H_2O + 2I_2$$
$$2HI + H_2O_2 = 2H_2O + I_2$$
$$2HNO_3 + 2HI = 2H_2O + 2NO_2 + I_2$$
$$2HI + Cl_2 = I_2 + 2HCl$$

হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড ফেরিক, কিউপ্রিক-লবণ ও নাইট্রাস অ্যাসিড দ্বারা জারিত হয় কিন্তু হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড হয় না।

$$2FeCl_3 + 2HI \; 2FeCl_2 + 2HCl + I_2$$
$$2CuSO_4 + 2HI \rightleftarrows 2H_2SO_4 + Cu_2I + I_2$$
$$2HNO_2 + 2HI = 2H_2O + 2NO + I_2$$

জৈব রস য়নের বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিজারক হিসাবে হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয়।

13.1?c পটাশিয়াম আয়োডাইড : 1 গাঢ় তপ্ত কস্টিক পটাশের সাথে আয়োডিনের বিক্রিয়া ঘটালে পটাশিয়াম আয়োডাইড ও আয়োডেট হয়। দ্রবণকে বাষ্পীভূত করে শুকিয়ে ফেলে যে অবশেষ পাওয়া যায় তাকে চারকোল পাউডার দিয়ে বিজারিত করে পটাশিয়াম আয়োডাইডে পরিণত করা হয়। জলে এই অবশেষ দ্রবীভূত করে কেলাসিত করলে পটাশিয়াম আয়োডাইডের কেলাস পাওয়া যায়।

$$2KIO_3 + 3C = 2KI + 3CO_2$$

2. ফেরিক আয়োডাইড ও পটাশিয়াম কার্বনেটের জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে ঠিক পটাশিয়াম ব্রোমাইডের মত একই উপায়ে পটাশিয়াম আয়োডাইড পাওয়া যায়।

পটাশিয়াম আয়োডাইড ফোটোগ্রাফি ও ঔষধে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া রসায়নের বৈশ্লেষিক অংশের আয়োডোমিতি (Iodometry) শাখায় এর বহুল ব্যবহার হয়ে থাকে।

13.13 ক্লোরিণের অক্সাইড : ক্লোরিনের জ্ঞাত চারটি অক্সাইডের মধ্যে Cl_2O, ClO_2 এবং Cl_2O_7 সম্পর্কে সবিশেষ জানা আছে এবং বেশ কিছুকাল ধরে ব্যাপকভাবে গবেষণা করা হয়েছে। Cl_2O_6 বা ক্লোরিণ হেক্সঅক্সাইডের প্রকৃতি কিছুকাল হল নির্ণীত হয়েছে। এদের বৈশিষ্ট্যসূচক ভৌত ধর্মের কিছু তথ্য নীচে সন্নিবেশিত করা হল :

ক্লোরিণ অক্সাইডের ভৌত ধ্রুবকসমূহ

ধর্ম	Cl_2O	ClO_2	Cl_2O_6	Cl_2O_7.
আণবিক গুরুত্ব	86 914	67.45	166.914	182 914.
গলনাংক C°	−116	−50	3.5	−91.5.
স্ফুটনাংক °C	2	11.0	203 (আনুমানিক)	80.
বাষ্পীভবন তাপ কিলো. ক্যালরি/গ্রাম অণু	6.20	6.52	9.50	8 29
বাষ্পচাপ, মি.মি. 0° তাপাংকে	699	490	0.31	23.7
ঘনত্বে গ্রাম/সি.সি. ঘনাংকে	—	1.64 (0°c তাপাঙ্কে)	2·02 (3.5° তাপাঙ্কে)	(0° তাপাঙ্কে 1.86)
গ্যাসের বর্ণ	হলুদাভ-লাল	হলদে	লাল	—

তরল ক্লোরিণ মনোঅক্সাইড, Cl_2O বিজারকের সংস্পর্শে দ্রুত বিস্ফোরিত হয়ে ক্লোরিণ ও অক্সিজেনের মিশ্রণে পরিণত হয়। কিন্তু বিজারকের অনুপস্থিতিতে কোন প্রকার বিয়োজন না ঘটিয়েই পাতন করা সম্ভব। 0° তাপাঙ্কে 1 আয়তন জলে প্রায় 200 আয়তন দ্রবীভূতক্ষম এই গ্যাস জলের সাথে হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড সমন্বিত কমলা-হলুদ দ্রবণের সৃষ্টি করে। এই বিক্রিয়াটি উভমুখী। ইলেকট্রন ডিফ্রাকশন তথ্য থেকে জানা যায় গ্যাস অণুটি কৌণিক। Cl−O−Cl যোজন কোণ 111° Cl−O এবং Cl−Cl যোজক দৈর্ঘ যথাক্রমে 1·71A ও 2·82A ।

সদ্য অধঃক্ষিপ্ত মারকিউরিক অক্সাইডকে 300−400° তাপাঙ্কে শুষ্ক করে তার উপর ক্লোরিণ গ্যাস চালিত করে Cl_2O তৈরী করা যায়।

$$2Cl_2+2HgO \longrightarrow HgCl_2.HgO+Cl_2O.$$

এই গ্যাসীয় যৌগকে ঘনীভূত করে সহজেই তরলায়িত করা যায়। মোটামুটি গাঢ় হাইপোক্লোরাস অ্যাসিডকে নিম্নচাপে পাতিত করলেও Cl_2O পাওয়া যায়।

সেলুলোজ জাত পদার্থের বিরঞ্জনের উৎকৃষ্টতর ক্ষমতা, চমৎকার জীবাণুনাশক হিসাবে জল জীবাণু মুক্ত করার জন্য ও ক্লোরাইট্ গঠনে উল্লেখ্য ভূমিকার জন্য সম্প্রতি ClO_2-এর রাসায়নিক পণ্য হিসাবে উৎপাদন সুরু হয়েছে। ইলেকট্রন ডিফ্রাকশন তথ্য থেকে জানা যায় এর অণুর গঠন কৌণিক ; O – Cl – O, যোজক কোন 116.5° এবং Cl – O যোজক দৈর্ঘ্য 1.49A যে সমস্ত যৌগ odd molecule বা বিষম অণু বলে পরিচিত ClO_2 তাদের অন্যতম, ওই প্রকার অণুগুলির অন্যান্যদের মতই বিশেষভাবে সক্রিয়। কোন বিজারক ও তার সাথে পর্যাপ্ত পরিমাণ ক্লোরিণ-ডাই-অক্সাইডের মিশ্রণের মতই বিশুদ্ধ গ্যাসীয় ক্লোরিণ ডাই অক্সাইডও একই পরিমাণে বিস্ফোরণশীল। তবে বাতাস বা কার্বন-ডাই-অক্সাইডের দ্বারা লঘুকৃত করে নিলে (মিশ্রণের ClO_2 র আনুপাতিক পরিমাণ হ্রাস করে নিলে—dilution) নিরাপদে ব্যবহার করা যায়। বাতাস-ক্লোরিণ ডাই অক্সাইডের মিশ্রণে শেষোক্তের আংশিক চাপ মারকারির 70 মি মি. চাপের যদি বেশী হয় তবে বিস্ফোরণ ঘটে, অন্যথায় 25 থেকে 30 মি.মি. পর্যন্ত চাপে কোন বিপদাশংকা নেই। ক্লোরিণ ডাই অক্সাইডের তীব্র জারণ ধর্ম নিচের বিক্রিয়া থেকেই স্পষ্ট :—

$$Cl^- + 2H_2O \rightleftarrows ClO_2 + 4H^+ + 5e^- \qquad E^\circ_{298} = -1.50 \text{ ভোল্টস্}$$

মৌলাবস্থায় ক্লোরিন যে পরিমাণ পদার্থকে জারিত করে মৌল প্রতি ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড তার 2.5 গুণ বেশী পদার্থকে জারিত করতে পারে। জল বা ক্ষারকীয় (basic) হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে ক্লোরাইট ও ক্লোরেট ও অনেক ধাতু ও ধাতব পার-অক্সাইডের সাথে ClO_2 তাদের ক্লোরাইট উৎপন্ন করে।

ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড প্রস্তুতির সনাতন পদ্ধতি হচ্ছে

1. নিম্ন তাপাংকে কোনো ক্লোরেট ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া এবং পরে তার পাতন। এই পদ্ধতি বিপদজনক হলেও দৃঢ়ভাবে নিয়ন্ত্রিত অবস্থার মাধ্যমে সাফল্যের সঙ্গে এই প্রক্রিয়া ব্যবহার করা যেতে পারে

2. সালফিউরিক অ্যাসিডের পরিবর্তে অক্সালিক অ্যাসিড ব্যবহার করলে আরও ভাল ফল পাওয়া যায়। বিক্রিয়া নির্গত কার্বন ডাই অক্সাইড লঘুকারক (Diluent) হিসাবে কাজ করে

$$2KClO_3 + 2H_2C_2O_4 \longrightarrow 2ClO_2 + 2CO_2 + K_2C_2O_4 + 2H_2O$$

3. প্রযুক্তি পদ্ধতিতে তড়িতবিশ্লেষণের সাহায্য নেওয়া হয়

$$2NaCl + 2NaClO_2 + 2H_2C \xrightarrow[\text{বিশ্লেষণ}]{\text{তড়িত}} 2Cl_2 + 2NaCl + 2NaOH + H_2$$

4. অথবা অধিকতর শ্রেয় বিক্রিয়া হচ্ছে বাতাস মিশ্রণে লঘুকৃত ক্লোরিণ ও ক্লোরাইটের মধ্যে বিক্রিয়া

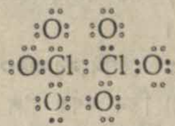
$$2NaClO_2 + Cl_2 \xrightarrow{H_2O} 2NaCl + 2ClO_2$$

ক্লোরিণ প্রবাহের গতির হার নিয়ন্ত্রিত করে শেষোক্ত উল্লিখিত পদ্ধতিটি নিয়ন্ত্রণ করা যায়

5. উল্লিখিত যৌগটি প্রস্তুতির এক নিরাপদ ল্যাবোরেটরী পদ্ধতি হল সিলভার ক্লোরেটের সাথে 90°c তাপাংকে ক্লোরিণের বিক্রিয়া

$$2AgClO_3 + Cl_2 \xrightarrow{90^\circ} 2AgCl + 2ClO_2 + O_2$$

ক্লোরিণ হেক্সঅক্সাইড Cl_2O_6 সম্বন্ধে বেশ কিছু গবেষণা কিছুকাল ধরে হয়েছে। ভৌত ধ্রুবকগুলি থেকে প্রতীত হয় যে এই যৌগে অণুগুলি ক্লোরিণের অন্য অক্সাইড-গুলির থেকে আরও নিবিড় পুঞ্জাবস্থায় থাকে এবং সম্ভবতঃ নিচের মত অসমতলিক বিন্যাসে বিন্যস্ত থাকে।



কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবীভূত অবস্থায় নির্ণীত আণবিক গুরুত্ব এর সংযুতি Cl_2O_6 হবে বলে নির্দেশ করে। এই ধরণের পদার্থ সাধারণতঃ ডায়াম্যাগনেটিক (তিরশ্চুম্বকধর্মী) হলেও জলীয় দ্রবণে বা তরলাবস্থায় যৌগে প্যারাম্যাগনেটিক ধর্মের প্রকাশও দেখা যায়। এর কারণ হিসাবে বলা যেতে পারে Cl_2O_6 তাপে কিছুটা বিয়োজিত হয়ে ClO_3 এই বিষম অণুর সৃষ্টি করে এবং পরস্পরের মধ্যে একটা সাম্যতা বজায় থাকে

$$Cl_2O_6 + \text{তাপ} \rightleftarrows 3ClO_3$$

$-40°$ থেকে :0° তাপমাত্রায় সাম্যতা-ধ্রুবকের মানের ক্রম $3^{+} \times 10^{3}$. এমন কি গলনাংকের তাপমাত্রাতেও তাপবিয়োজনের ফলে যথেষ্ট পরিমাণে ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড ও অক্সিজেন সৃষ্টি করে। এই যৌগের জারণ ক্ষমতা এত তীব্র যে স্টপককে ব্যবহৃত চর্বির সাথেও Cl_2O_6 বিস্ফোরণ করে বিক্রিয়া করে। ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় ক্লোরেট ও পারক্লোরেটের মিশ্রণের উদ্ভব হয়। ক্লোরিণ হেক্সঅক্সাইড তৈরী করার সবচেয়ে ভাল উপায় হল 0° - 6° তাপাংকে ক্লোরিণ ডাই অক্সাইডের সাথে ওজোনের বিক্রিয়া ও তারপর এর অংশায়ন। অবশ্য ক্লোরিণ ডাই অক্সাইডের অতিবেগুনী আলোর দ্বারা ব্যাপন (irradiation) করলেও একই বস্তু পাওয়া যাবে।

ক্লোরিণ হেপ্ট অক্সাইড Cl_2O_7, মনক্সাইড বা ডাই অক্সাইডের চেয়ে অধিকতর স্থায়ী কিন্তু তাপে বা কোনো অভিঘাতে (shock) এর ডিটোনেশন হয়। জারক হিসাবেও এর কার্যকারিতা অধস্তন অক্সাইডের চেয়েও কম। জলের সাথে এর বিক্রিয়ায় পারক্লোরিক অ্যাসিড হয়। $-10°C$ তাপে ফসফোরাস (V) অক্সাইডে

দ্বারা পারক্লোরিক অ্যাসিডকে নিরুদিত করে, পরে 85°C তাপে পাতিত করলে এক বর্ণহীন তৈলাক্ত তরল আকারে একে পাওয়া যায়, বিস্ফোরণ এড়াবার জন্য সতর্কতার প্রয়োজন।

ক্লোরিন টেট্রাক্সাইডের অস্তিত্ব সম্বন্ধে কিছু সংশয় থাকলেও গোমবের্গের অভিমত অনুসারে ইথারের দ্রবণে উক্ত পদার্থের উৎপত্তি নিচের বিক্রিয়ানুযায়ী সম্ভব।

$$2AgClO_4 + I_2 \longrightarrow 2AgI + 2ClO_4$$

এর স্বপক্ষে যুক্তি হচ্ছে এই দ্রবণ ধাতুর সাথে বিক্রিয়ায় ধাতব পারক্লোরেট ও জলের সাথে বিক্রিয়ায় পারক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। অবশ্য এখানে উল্লেখযোগ্য সিলভার পারক্লোরেটের সাথে আয়োডিনের বিক্রিয়ায় সর্বদাই কিছু পারক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এইরূপ যৌগের আদৌ যদি অস্তিত্ব থাকে তবে অক্সাইড অপেক্ষা মুক্ত মুলক (Free radical) হবার সম্ভাবনাই বেশী। অবশ্য গোমবের্গের মতে এটা একটা ডাইমার (Dimer)।

13.14 ব্রোমিনের অক্সাইড : ব্রোমিনের সৃষ্ট সমস্ত অক্সাইডগুলির প্রস্তুতি ও তাদের সম্পর্কে বৈজ্ঞানিক গবেষণা তিন দশক হ'ল হয়েছে। কঠিন ও তরল উভয়াবস্থাতেই গাঢ় বাদামী রঙের ব্রোমিন মনোঅক্সাইড আছে। Br_2O, $-17{\cdot}5 \pm 0{\cdot}5$°C তাপাংকে গলিত হয় কিন্তু দ্রুত বিয়োজনের জন্য এর স্ফুটনাংক বা বাষ্পচাপ কিছুই নির্ণয় করা যায় নি। $-40°$ তাপাংকে উর্ধে যে কোন তাপমাত্রাতেই Br_2O বিযোজিত হয়ে ব্রোমিন ও অক্সিজেনের উদ্ভব হয়। কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবীভূত ব্রোমিন মনোঅক্সাইডকে 0° তাপাংকে ক্ষারমিশ্রিত করে ঝাঁকালে হাইপোব্রোমাইট হয়; কিন্তু শুধু বিশুদ্ধ অক্সাইডকে ক্ষার মিশ্রিত করে ঝাঁকালে হাইপোব্রোমাইটের সাথে ব্রোমেটও হয়। বলা যেতে পারে, অক্সাইড ও জলের সাথে বিক্রিয়ায় হাইপোব্রোমাস অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, যা অত্যন্ত দ্রুত ভেঙ্গে গিয়ে ব্রোমেটের উৎপন্ন হয়। ব্রোমিন মনোঅক্সাইডের জারণ শক্তি আছে, আয়োডাইড থেকে আয়োডিনের মুক্তিই এর দৃষ্টান্ত।

এই ব্রোমিন মনোঅক্সাইড তৈরী করার পদ্ধতিগুলি নীচে দেওয়া হল :

50° তাপাংকে সোডিয়াম হাইড্রোক্সাইডের সাথে মারকারি (II) ক্লোরাইডের দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে মারকারি (II) অক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। এই মারকারি (II) অক্সাইডের অধঃক্ষেপকে 150° তাপাংকে বিশুষ্ক করে তার ওপর বাষ্পীয় ব্রোমিন চালিত করলে Br_2O তৈরী হয়। বিক্রিয়ার মাত্রা-তাপাংক 50 − 65°

[R. Schwarz and H. Wiele: Naturwissenschaften 26,742 (1938)
J. Prakt. Chem 152, 157 (1939)]

2. আর এক বিকল্প পদ্ধতিতে মারকারি (II) অক্সাইডের সাথে কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবীভূত ব্রোমিনের বিক্রিয়া ঘটিয়ে Br_2O তৈরী করা হয়। প্রথমে 40 − 45° তাপাংক ও তারপর 0° থেকে −18° তাপাংকে এই দুই স্তরে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়াকের (Reactant) 42 শতাংশ পরিবর্তন ঘটে।

3 বায়ুশূন্য আধারে ব্রোমিন ডাইঅক্সাইডের তাপ বিয়োজনের দ্বারাও ব্রোমিন মনোঅক্সাইড তৈরী করা যেতে পারে। বিশুদ্ধ অবস্থায় যৌগটি প্রস্তুত করতে গেলে এই পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়।

Br_3O_8-কঠিন অবস্থায় দুইরূপে থাকে। একরূপ থেকে অন্যরূপের পরিবর্তন-তাপাংক (transition temp) হল $-35\pm3°C$. $-80°$ তাপাংক পর্যন্ত এই যৌগ স্থায়ী হলেও উচ্চতর তাপে একমাত্র ওজোনের সান্নিধ্যেই সংরক্ষণ করা যায়। জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যে বর্ণহীন দ্রবণ উৎপন্ন হয় তাতে আম্লিক ও জারণ উভয় ধর্মই থাকে। লিউয়িস ও শুমাথারের মতে প্রাথমিক জাতদ্রব্য $H_4Br_3O_{10}$ দ্রুত ভেঙ্গে গিয়ে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড. ব্রোমিক অ্যাসিড, জল ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে।

এই Br_3O_8 প্রস্তুত পদ্ধতি হল $-5°$ থেকে $10°$ তাপমাত্রায় ওজোনের সাথে ব্রোমিন বাষ্পের বিক্রিয়া। এতে বিক্রিয়া-আধারের গায়ে Br_3O_8 সাদা (কঠিন পদার্থের) চূর্ণের আকারে পরিন্যাসিত হয়।

ব্রোমিন ডাই অক্সাইড BrO_2 একটি হলদে কঠিন পদার্থ, $40°$ তাপাংকের নিচে স্থায়ী কিন্তু উচ্চতর তাপে এবং 1 অ্যাটমসফিয়ার চাপে অক্সিজেন ও ব্রোমিনে বিয়োজিত হয়। বায়ুশূন্য আধারে বিয়োজিত হয়ে ব্রোমিন অক্সাইড ও একটি সাদা পদার্থে পরিণত হয়। এই সাদা পদার্থ সম্ভবতঃ ব্রোমিন হেপ্ট অক্সাইড Br_2O_7. সদৃশ ক্লোরিণ যৌগের থেকে BrO_2 কম বিস্ফোরক। কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ও জলে BrO_2 দ্রবীভূত হয় এবং জলের সাথে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে। ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় ব্রোমেট ও ব্রোমাইট হয়. আয়োডাইড জারিত হয়ে আয়োডিন মুক্ত হয়।

এক মোক্ষন টিউবে নিম্নচাপে অক্সিজেন ও ব্রোমিন বাষ্পের বিক্রিয়া ঘটিয়ে BrO_2 তৈরী করা যায়। মোক্ষন টিউবের নিচের অংশ তরল বায়ুতে শীতল করা থাকে। এবং বিক্রিয়াজাত দ্রব্যকে $-30°C$ তাপাংকে পাতিত করে অক্রিয়াশীল ব্রোমিন দূর করা হয়।

13.15. আয়োডিনের অক্সাইড

অক্সিজেন—আয়োডিনের একাধিক যুগ্মযৌগের কথা জানা থাকলেও একমাত্র I_2O_5 কেই যথার্থ অক্সাইড বলে মনে হয়। অন্যান্য যৌগদের মধ্যে I_2O_4 ও I_4O_9 ধর্মে লাবনিক (Salt like) এবং আয়োডিনের আয়োডেট হিসাবেই তাদের বিবেচনা করা অধিকতর যুক্তিসঙ্গত। এই ধারনা আয়োডিনের ক্ষারক ধর্মাবলী থেকে সংগৃহীত তথ্যের দ্বারা সমর্থিত।

আয়োডিন পেন্ট অক্সাইড একটি সাদা পাউডার (আপেক্ষিক গুরুত্ব 4·98) এবং একে গলিত করলেও কোন বিয়োজন ঘটে না। কিন্তু $300°$ তাপাংকের উর্ধে ভেঙ্গে অক্সিজেন ও আয়োডিনে পরিণত হয়। কার্বন মনোক্সাইড, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড. ও হাইড্রোজেন সালফাইডের সাথে এই যৌগ জারক হিসাবে বিক্রিয়া করে

এবং নিজে বিজারিত হয়ে আয়োডিনে পরিণত হয়। এই অক্সাইডকে I_2O_4 বা I_4O_9এর পাইরোলিসিস বা খরতাপ বিশ্লেষণ করে অথবা আয়োডিনকে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড দিয়ে জারিত করে অথবা আয়োডিক অ্যাসিডকে 200— 50° তাপাংকে নিরুদিত করে প্রস্তুত করা সম্ভব।

I_2O_4 কে সাধারনভাবে টেট্রাপজিটিভ আয়োডিনের জাতযৌগিক (Derivative) অপেক্ষা আয়েডিল আয়োডেট (IO)IO_4 হিসাবে বিবেচনা করাই সমীচীন। কেলাসিত হলুদ এই কঠিন পদার্থ শীতল জলে স্বল্প পরিমানে দ্রবনীয় এবং বিশুষ্ক ইথার বা গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডে অদ্রবনীয়। উষ্ণ জলের সাথে এর বিক্রিয়ায় আয়োডিক অ্যাসিড ও আয়োডিন উৎপন্ন হয় এবং নির্জল ইথানলের (absolute ethanol) সাথে বিক্রিয়ায় মূলতঃ আয়োডিন পেণ্ট অক্সাইড গঠিত হয়। ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় আয়োডেট ও আয়োডাইড গঠিত হয় কিন্তু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাথে ক্লোরিণ ও আয়োডিন মনোক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। 85° তাপাংকের উর্ধে তাপ বিযোজিত হয়ে I_2O_4 আয়োডিন পেণ্টঅক্সাইডে পরিণত হয় ও 150° তাপাংকে এই বিযোজন ত্বরান্বিত হয়।

গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড সহযোগে আয়োডিক অ্যাসিডকে ঈষদুষ্ণ করে জাত I_2O_4কে কয়েকদিন ধরে ক্রমাগত কেলাসিত, পরিশ্রুত ও 100° তাপাংকের নীচে বিশুষ্ক করলে I_2O_4 পাওয়া যায়। এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 4·2।

I_4O_9কে সাধারণতঃ স্বাভাবিক আয়োডাস্ বা আয়োডিন (III) আয়োডেট $I(IO_3)_3$ হিসাবে গণ্য করা হয়। হাল্কা হলুদ উদ্গ্রাহী এই পাউডার 75°C বা তার উর্ধে পেণ্ট অক্সাইড, আয়োডিন বা অক্সিজেনে পরিণত হয়। জলের সাথে বিক্রিয়ায় চূড়ান্ত পর্যায়ে আয়োডিন ও আয়োডিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়; প্রাথমিক পর্যায়ে $I(OH)_3$ ও আয়োডিক অ্যাসিড তৈরী হয় এবং পরবর্তী স্তরে $(OH)_3$, আয়োডিক ও হাইড্রোয়েডিক অ্যাসিডে পরিণত হয় ও তারপর নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে।

ক্লোরোফর্ম, কার্বন টেট্রাক্লোরাইড বা নাইট্রোবেনজিনে দ্রবীভূত আয়োডিন অথবা বাষ্পীয় আয়োডিনের সাথে ওজোনের বিক্রিয়ায় এই যৌগ প্রস্তুত করা যায়। গাঢ় ফসফোরিক অ্যাসিডের (আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·70) সাথে আয়োডিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে অক্সিজেন ও আয়োডিনের সাথে মিশ্রিত অবস্থায় এই যৌগ তৈরী করা যেতে পারে।

I_2O_3 এবং I_2O মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। কিন্তু I_2O_4 এর প্রস্তুতির সময় হলদে $(IO)_2SO_4$ আয়েডিল সালফেট পাওয়া যায়। অ্যাসিড-স্থায়ীকৃত (acid stablised) $(IO)_2SO_4$কে আয়ডিনের সাথে শীতল অবস্থায়, আয়োডিন পেণ্টঅক্সাইডের বা 92—98% সালফিউরিক অ্যাসিডের বা সালফিউরিক অ্যাসিডের সাথে আয়োডিক অ্যাসিডের আয়োডিন নির্গত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়া ঘটিয়ে এই যৌগ প্রস্তুত করা

যেতে পারে। অতিরিক্ত সালফার (VI) অক্সাইডের উপস্থিতি একে স্বাভাবিক দ্রাবকান্বিত (solvated) আয়োডিন সালফেটে—$I_2(SO_4)_3\ H_2SO_4$ পরিণত করে। আয়োডিন ও আয়োডিল সালফেটকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত করলে সৃষ্ট পদার্থে আয়োডিন (I) ক্যাটায়নের কিছু নিদর্শন পাওয়া যায় বলে জানা গেছে।

13.16। হ্যালোজেনের অক্সিঅ্যাসিড ও তাদের লবণ

হ্যালোজেনের অক্সাইডের কতকগুলিকে হ্যালোজেন অ্যাসিডের অক্সিজেনযুক্ত নিরুদক বলে বিবেচনা করা যেতে পারে। এই সব অ্যাসিড বা তাদের লবণে কেন্দ্রস্থিত হ্যালোজেন পরমাণু এক বা একাধিক অক্সিজেন অ্যাটমের সাথে সহযোজী (covalent) বন্ধনে আবদ্ধ। ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পার্থক্যের জন্য এই সব বন্ধন কিছু পরিমাণে পোলার (polar) হবে ও এক্ষেত্রে হ্যালোজেন পরমাণু হবে ইলেকট্রোপজিটিভ। এর ভিত্তিতে বলা যেতে পারে ফ্লোরিণের ক্ষেত্রে এ ধরনের যৌগ গঠিত হবার আশা নেই। এই যুক্তি অক্সিজেন ফ্লোরাইডগুলির অম্ল ধর্মের অভাব থেকেও সমর্থিত হয়। কিন্তু এটা স্থির নিশ্চিত যে অক্সিজেন-ফ্লোরিণ থেকে জাত অ্যাসিডের লবণ প্রস্তুত করাও সম্ভব। দৃষ্টান্ত স্বরূপ বলা যেতে পারে $-50°C$ তাপে 50% পটাশিয়াম হাইড্রকসাইড দ্রবণকে ফ্লোরিনাক্ত করলে এমন একটা কঠিন পদার্থ পাওয়া যায় যাকে পুনঃ পুনঃ গলিত করলেও জারণ ধর্মের প্রকাশ অব্যাহত থেকে যায়। সম্ভবতঃ এক্ষেত্রে হাইপোফ্লোরাইট বা ফ্লোরেট বর্তমান। একই ভাবে গলিত পটাশিয়াম হাইড্রক্সাইড ও ফ্লোরাইডের মিশ্রণকে তড়িত-বিশ্লেষণ করলে যে বিক্রিয়া-লব্ধ পদার্থ পাওয়া যায় তার নাইট্রিক অ্যাসিড দ্রবণে সিলভার নাইট্রেট দিলে সেই পদার্থ মূলতঃ সিলভার ফ্লোরেট রূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়। এছাড়াও সিলভার (II) ফ্লোরাইডের উপস্থিতিতে মিথানল ও কার্বন মনঅক্সাইডের মিশ্রণকে ফ্লোরিনাক্ত করলে ট্রাইফ্লোরোমিথাইল হাইপোফ্লোরাইট CF_3OF তৈরী হয়। কিন্তু এই সব যৌগগুলিকে অন্য হ্যালোজেন যৌগগুলির সদৃশ যৌগ বলে কখনই গণ্য করা যায় না।

এই সব পদার্থের মধ্যে জারণ ধর্মের বিভিন্নতা অনুধাবনে সহায়ক প্রমাণ বিভব উপাত্তের একটা তালিকা নীচে দেওয়া হল। বিজারণের ফলে মুক্ত হ্যালোজেনে পরিণত হওয়ার বিক্রিয়া যদি বিবেচনা করা হয় তবে দেখা যাবে ক্লোরিণ, ব্রোমিন ও আয়োডিনের ক্ষেত্রে জারণ ক্রমাংকের বৃদ্ধির সাথে সাথে জারণ ক্ষমতা হ্রাস পাচ্ছে। বিজারণের ফলে হ্যালাইডে পরিণত হওয়ার বিক্রিয়া বিবেচনা করলে ক্ষারীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে ফল আগের মতই হলেও আম্লিক দ্রবণে ব্রোমিন ও আয়োডিনের ক্ষেত্রে বিপরীত ফল পাওয়া যায়। যেহেতু বিজারণের ফলে মৌলগুলির হ্যালাইডে পরিণত হওয়া একান্ত স্বাভাবিক, তাই বিক্রিয়ার এই ধারা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য পারআয়োডেট আয়োডেটের চেয়ে তীব্রতর জারক হলেও ক্লোরিণের সংশ্লিষ্ট যৌগের ক্ষেত্রে বিপরীতটাই সত্য। এই সব বিক্রিয়ার বিভবমানগুলি মুক্ত

হ্যালোজেনের হ্যালাইডে পরিণত হওয়ার বিজারণ বিক্রিয়াগুলির বিভবমানগুলির সাথে তুলনা করলে দেখা যাবে অনুরূপ অবস্থাতে সাধারণভাবে অক্সি-অ্যাসিডগুলিই উৎকৃষ্টতর জারক। যৌগ প্রস্তুতির দিক থেকে এই তথ্য বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ কারণ, এ থেকে বোঝা যায় অ্যাসিড দ্রবণে ক্লোরেট আয়োডিনকে আয়োডেট করলেও ব্রোমিনকে ব্রোমেটে পরিণত করবে না ; কিন্তু ব্রোমিন ক্লোরিণকে ক্লোরেট ও আয়োডিনকে আয়োডেটে পরিণত করবে।

হ্যালোজেনের অক্সি-অ্যানায়নের প্রমান বিভবমান

বিক্রিয়া	ভোল্টস E°_{298}		
	X = Cl	Br.	I
1. আম্লিক দ্রবণে X_2 মুক্ত হ্যালোজেনে পরিণত হওয়ার বিজারণ বিক্রিয়া			
$\frac{1}{2}X_2+H_2O \rightleftarrows H^++HOX+e^-$	−1·63	−1·59	−1·45
$\frac{1}{2}X_2+2H_2O \rightleftarrows 3H^++HOXO+3e^-$	−1·63	...	...
$\frac{1}{2}X_2+3H_2O \rightleftarrows 6H^++XO_3^-+5e^-$	−1·47	−1·52	−1·195
$\frac{1}{2}X_2+4H_2O \rightleftarrows 8H^++XO_4^-+7e^-$	−1·34		−1·38(H_5IO_6)
2. আম্লিক দ্রবণে X^- হ্যালাইড আয়নে পরিণত হবার বিজারণ বিক্রিয়া			
$X^-+H_2O \rightleftarrows H^++HOX+2e^-$	−1·49	−1·33	−0·99
$X^-+2H_2O \rightleftarrows 3H^++HOXO+4e^-$	−1·56	...	...
$X^-+3H_2O \rightleftarrows 6H^++XO_3^-+6e^-$	−1·45	−1·67	−1·09
$X^-+4H_2O \rightleftarrows 8H^++XO_4^-+8e^-$	−1·34	...	−1·27(H_5IO_6)
3. ক্ষারীয় দ্রবণে X^- হ্যালাইড আয়নে পরিণত হবার বিজারণ বিক্রিয়া			
$X^-+2OH^- \rightleftarrows XO^-+H_2O+2e^-$	−0·94	−0·76	−0·49
$X^-+4OH^- \rightleftarrows XO_2^-+2H_2O+4e^-$	−0·76	...	...
$X^-+6OH^- \rightleftarrows XO_3^-+3H_2O+6e^-$	−0·62	−0·61	−0·26
$X^-+8OH^- \rightleftarrows XO_4^-+4H_2O+8e^-$	−0·51	...	−0·38 (IO_6^{-5})

13.16b (i) হাইপোহ্যালাস অ্যাসিড ও হাইপোহ্যালাইট :

তাপে অস্থায়ী হবার জন্য হাইপোহ্যালাস অ্যাসিড একমাত্র জলীয় দ্রবণেই পাওয়া যায়। যদিও গাঢ় হাইপোহ্যালাস অ্যাসিডের দ্রবণের সাথে সাম্যাবস্থায় কঠিন অবস্থায় স্থিত $HOCl.2H_2O$ কেলাস পাওয়া যায়। জলে অ্যাসিডের সবগুলিই মৃদু অ্যাসিড ও কেন্দ্রস্থ হ্যালোজেন পরমাণুর আকার বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে এদের অ্যাসিডের শক্তি হ্রাস পায়। 25°C তাপে হাইপোক্লোরাস অ্যাসিডের pKA-এর মানের ক্রম 8. ক্ষারীয় ধাতুর হাইপোহ্যালাইট অতি দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়। হাইপোআয়োডাস

অ্যাসিড কিছুটা উভধর্মী ; এর প্রমাণ হাইপোআয়োডাস অ্যাসিড হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় আয়োডিন মনক্লোরাইডে পরিণত হয়।

মুক্ত হ্যালোজেনের আর্দ্রবিশ্লেষণের দ্বারা হাইপোহ্যালাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ প্রস্তুত করা যেতে পারে

$$X_2+H_2O \rightleftarrows H^++X^-+HOX$$

মুক্ত হ্যালোজেনের হাইপোহ্যালাস অ্যাসিডে পরিণত হওয়ার পরিমাণ ক্লোরিণ—ব্রোমিন—আয়োডিনে পর্যায়ক্রমে কমে আসে। এর চেয়ে উৎকৃষ্ট এক সাধারণ প্রস্তুত প্রণালী হল জলে ভাসমান সূক্ষ্ম মার্কারি (II) অক্সাইডের সাথে মৌল হ্যালোজেনের বিক্রিয়া।

জলের সঙ্গে প্রত্যক্ষ বিক্রিয়া উভয়মুখী এবং এতেও হ্যালাইড সৃষ্টি হয়। জলীয় হাইপোক্লোরাস অ্যাসিডকে পাতিত করে গাঢ় করা যেতে পারে যদিও সাধারণভাবে উত্তাপে মৌল হ্যালোজেন নির্গত হতে পারে বা হাইপোহ্যালাস অ্যাসিড হ্যালেট ও হ্যালাইডে পরিণত হতে পারে।

শীতল লঘু ক্ষারীয় দ্রবণের সাথে মৌল হ্যালোজেন বিক্রিয়া করে হাইপোহ্যালাইট গঠন করে

$$X_2+2OH^- \longrightarrow OX^-+X^-+H_2O$$

এই হাইপোহ্যালাইট উত্তাপে হ্যালেট ও হ্যালাইডে পরিণত হয়।

$$3OX^- \longrightarrow XO_3^-+2X^-$$

সকল হাইপোহ্যালাইটের মধ্যে হাইপোক্লোরাইটই সবচেয়ে সুপরিচিত ও প্রযুক্তি পর্যায়ে বিরঞ্জক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। হাইপোক্লোরাইটের জলীয় দ্রবণ শিল্পে উৎপাদন করা হয় ক্লোরাইডের তড়িত বিশ্লেষণ দ্বারা। এই প্রক্রিয়ায় এমন ব্যবস্থা করা থাকে যে অ্যানোড ও ক্যাথোডে জাত দ্রব্য পরস্পরের সাথে যেন মিশ্রিত হতে পারে। ক্লোরিণের সাথে ক্যালসিয়াম হাইড্রক্সাইডের বিক্রিয়ায় ক্যালসিয়াম হাইপোক্লোরাইট ও মিশ্র হাইপোক্লোরাইট ক্লোরাইড Ca(OCl)Ol বা ব্লিচিং পাউডার প্রস্তুত করা হয়। উভয় দ্রব্যই বিরঞ্জক হিসাবে শিল্পে ব্যবহৃত হয়।

13.16 b (ii) ব্লিচিং পাউডার ঃ Ca(OCl)Cl (হেজেনক্লেভার পদ্ধতি)

ক্যালসিয়াম ক্লোরো হাইপোক্লোরেট বা ব্লিচিং পাউডার তৈরী করা হয় কলিচুণের সাথে ক্লোরিণের বিক্রিয়া ঘটিয়ে।

$$Ca(OH)_2+Cl_2 \xrightarrow{40°C} Ca(OCl)Cl+H_2O$$

তড়িত বিশ্লেষণীয় পদ্ধতিতে যে ক্লোরিণ গ্যাস উপজাত হিসাবে পাওয়া যায় তার থেকে জলীয় বাষ্প ও কার্বন ডাই অক্সাইড প্রথমে অপসারিত করা হয়। তারপর একে বাতাসের সাথে মিশিয়ে হেজেনক্লেভারের যন্ত্রে প্রেরণ করা হয়। এই যন্ত্র কতকগুলি উপর নিচে পরপর বিন্যস্ত লৌহ সিলিণ্ডার দিয়ে গঠিত ও প্রতিটি সিলিণ্ডার পরস্পরের

সাথে সংযুক্ত। কোনো কোনো ক্ষেত্রে কংক্রিটের সিলিণ্ডারও ব্যবহৃত হয়। এই কংক্রিট সিলিণ্ডারগুলির মেঝেতে আলকাতরা ও অগ্নিসহ মৃত্তিকার আবরণ থাকে। সর্বোচ্চ সিলিণ্ডারের সংভরণ দ্বার দিয়ে কলিচূণ ঢালা হয় ও যান্ত্রিক উপায়ে এই চূণকে ধীরে ধীরে পরবর্তী সিলিণ্ডারের প্রবেশ পথের দিকে ঠেলে দেওয়া হয়। সর্বনিম্ন সিলিণ্ডার থেকে ক্লোরিণ গ্যাসের প্রবাহ চালিত করা হয়। সিলিণ্ডারের মধ্যে যান্ত্রিক পাখা চালিয়ে চূণ ও ক্লোরিণের নিবিড় মিশ্রণ করা হয়। তাপমাত্রা 35° – 40°C রাখা হয়। কলিচুণ ক্লোরিণকে শোষণ করে ব্লিচিং পাউডার গঠন করে এবং সর্বনিম্ন সিলিণ্ডার দিয়ে উৎপাদিত বস্তুকে বার করে নেওয়া যায়। কিন্তু উৎপাদিত বস্তুকে বার করে নেবার আগে অতিরিক্ত ক্লোরিণ বায়ুপ্রবাহের দ্বারা দূর করে নেওয়া হয়। প্রাপ্ত ব্লিচিং পাউডারকে বড় কাঠের পিপায় সংগ্রহ করা হয়।

ধর্ম: 1 সাদা, তীব্র ক্লোরিণের গন্ধযুক্ত পাউডার, বাতাস থেকে জলীয় বাষ্প শোষণ করে। জলে সম্পূর্ণ দ্রবণীয় নয়, জলীয় মিশ্রণে ক্যালসিয়াম হাইপোক্লোরাইট থাকে।

2. তাপে ভঙ্গুর; বাতাসের জলীয় বাষ্প ও কার্বনডাই অক্সাইড বা লঘু অ্যাসিডের সংস্পর্শে ক্লোরিণ উৎপন্ন করে।

$$Ca(OCl)Cl + CO_2 = CaCO_3 + Cl_2$$
$$Ca(OCl)Cl + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2O + Cl_2$$
$$Ca(OCl)Cl + HCl = CaCl_2 + H_2O + Cl_2$$

এই ভাবে যে ক্লোরিণ বিক্রিয়া নির্মুক্ত হয় তার জন্যই ব্লিচিং পাউডারের জারণ ও বিরঞ্জন ধর্মের সৃষ্টি হয়। প্রকৃত পক্ষে ব্লিচিং পাউডারের মূল্যায়ণ করা হয় এইরূপ বিক্রিয়ার ফলে নির্গত ক্লোরিণ থেকে। এই ক্লোরিণকে **প্রাপ্তব্য ক্লোরিণ** বলে। 100 ভাগ ওজনের ব্লিচিং পাউডার থেকে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় যে যত ভাগ ক্লোরিণ নির্মুক্ত হয় তাই-ই উল্লিখিত ব্লিচিং পাউডারের প্রাপ্তব্য ক্লোরিণের পরিমান।

3. কোবাল্ট লবণ ব্লিচিং পাউডারের অনুঘটক প্রভাবিত বিযোজন ঘটায়:

$$2Ca(OCl)Cl = 2\,CaCl_2 + O_2$$

4. তীব্র জারক; এর অম্লাক্ত দ্রবণ পটাশিয়াম আয়োডাইড থেকে আয়োডিন নির্মুক্ত করে।

$$Ca(OCl)Cl + 2HCl + 2KI = CaCl_2 + H_2O + I_2 + 2KCl$$

ব্যবহার: 1. জীবাণুনাশকরূপে, জল জীবাণুমুক্ত করবার জন্য,
2. কাগজ ও বস্ত্রশিল্পে বিরঞ্জক হিসাবে
3. ক্লোরোফর্ম ইত্যাদি প্রস্তুতিতে

সংকেত ও সংযুতি: 1835 খৃষ্টাব্দে বালার্ড প্রথম একে $CaCl_2$ ও $Ca(OCl)_2$-এর মিশ্র বলে উল্লেখ করেছিলেন; কারণ এতে ক্লোরাইড ও হাইপো-

ক্লোরাইড উভয়েরই অস্তিত্ব আছে। কিন্তু তার এই অভিমত পরে নিম্নোক্ত কারণে গ্রহণযোগ্য নয় বলে সাব্যস্ত হয়েছে।

(i) ক্যাসিয়াম ক্লোরাইড মুক্ত অবস্থায় থাকলে মিশ্রণের উদ্গ্রাহী ধর্ম প্রকাশ পাবেই; কিন্তু ব্লিচিং পাউডার যথেষ্ট উদ্গ্রাহী নয়।

(ii) ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড অ্যালকোহলে দ্রবণীয়; কিন্তু ব্লিচিং পাউডারের অ্যালকোহলীয় দ্রবণ থেকে কোন ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড নিষ্কাশিত করা যায় নি।

(iii) আর্দ্র CO_2 ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের সাথে কোনো বিক্রিয়া করে না; কিন্তু আর্দ্র CO_2 ব্লিচিং পাউডারের সমস্ত ক্লোরিণকে অপসারিত করে, কিছু ক্লোরিণ $CaCl_2$ হিসাবে থাকলে এ' সম্ভব হত না।

এ সব দিক বিবেচনা করে ওডলিং ব্লিচিং পাউডারের সংকেত $Ca(OCl)Cl$ হবে বলে সাব্যস্ত করেছেন। এই সংকেত ওপরের সব তথ্যগুলিকে সমর্থন করে এবং এই সংকেতের গাণিতিক হিসেব থেকেও যোগ প্রাপ্ত ক্লোরিণের পরিমাণ ও প্রকৃত পরীক্ষা থেকে হিসেব করা ক্লোরিণের পরিমাণ মিলে গেছে (উভয় ক্ষেত্রেই ক্লোরিণের 47%)

13.16c হ্যালাস অ্যাসিড ও হ্যালাইট : ক্লোরাস, ব্রোমাস বা আয়োডাস অ্যাসিডকে বিশুদ্ধ মুক্ত অবস্থায় অন্তরিত করা যায় নি; এমনকি শেষোক্ত যৌগদ্বয়ের জলীয় দ্রবণে অস্তিত্ব আছে কিনা তারও কোন সুস্পষ্ট প্রমাণ নেই। ক্লোরাইটগুলি সুপরিচিত পদার্থ, এর অস্তিত্বের প্রত্যক্ষ প্রমাণ থাকলেও ব্রোমাইট বা আয়োডাইটের অস্তিত্বের যা কিছু প্রমাণ তা বহুলাংশে পরোক্ষ। হাইপোব্রোমাইট ও হাইপো-আয়োডাইটের তাপ-বিয়োজনের ফলে অস্থায়ী যৌগ (Intermediate Compound) হিসাবে এদের উদ্ভব হয়।

$$2XO^- \longrightarrow XO_2^- + X^-$$

ক্লোরাস অ্যাসিডের কোন যথার্থ নিরুদক নেই; কিন্তু একে মিশ্র নিরুদক ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড থেকে উদ্ভূত বলে গণ্য করা যেতে পারে। যদিও জলের সাথে বিক্রিয়ায় ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড সরাসরিভাবে ক্লোরাস অ্যাসিড উৎপন্ন করে না। কিন্তু ক্ষারের সাথে বিক্রিয়া করে ক্লেরাইট (ক্লোরেটের মিশ্রণ সহ) গঠন করে।

$$2ClO_2 + 2OH^- \longrightarrow ClO_2^- + ClO_3^- + H_2O$$

এ ছাড়াও জলে ভাসমান সূক্ষ্ম বেরিয়াম ক্লোরাইটের সাথে সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া করে, তারপর তাকে পরিশ্রুত (filter) করে ক্লোরাস অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। এই দ্রবণ তীব্র জারক; অ্যাসিডের শক্তি মধ্যম মৃদু (moderately weak) এবং pKA´এর মানের ক্রম 2.2.

হোয়াইট, টেলর, ভিনসেন্ট, এবং ভিনসেন্ট, সিনান ও উডওয়ার্ডের দ্বারা ক্লোরাইটের রসায়ন ব্যাপকভাবে পুনরীক্ষিত (Reviwed) হয়েছে। ক্লোরাইট রসায়নের প্রতি এই কৌতূহল সৃষ্টি হয়েছে উক্ত পদার্থের বিশিষ্ট বিস্ফোরক ও বিরঞ্জক

ধর্ম থেকে। যদিও গুরু ধাতুর ক্লোরাইটসমূহের রসায়ন ডিটোনেটর হিসেবেই অনুশীলিত হয়েছে কিন্তু এদের ব্যবহারিক কার্যকরিতার সম্ভাবনা কতটা তা বলা শক্ত।

সেলুলোজজাত পদার্থের বিরঞ্জক হিসাবে ক্ষারীয় ধাতুর ক্লোরাইট অপ্রতিদ্বন্দ্বী। ক্লোরাইটগুলি তুলনামূলক ভাবে ক্ষারীয় দ্রবনে স্থায়ী কিন্তু আম্লিক দ্রবণে সম্ভবতঃ নীচে বর্ণিত রূপে ভেঙ্গে যায়।

$$4HClO_2 \longrightarrow 2ClO_2 + ClO^-_3 + Cl^- + 2H^+ + H_2O$$

উত্তাপে এরা ক্লোরেট ও ক্লোরাইডে পরিণত হয়, ক্লোরিণের সাথে বিক্রিয়ায় ক্লোরাইড ও ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড গঠন করে। এদের প্রস্তুতির উপায় হচ্ছে ক্ষারের সাথে ক্লোরিণ ডাই অক্সাইড ও ক্লোরিণ ডাই অক্সাইডের সাথে পার-অক্সাইডের বিক্রিয়া। শেষোক্ত পদ্ধতিটি উৎকৃষ্টতর।

$$Na_2O_2 + 2ClO_2 \longrightarrow 8NaClO_2 + O_2$$
$$BaO_2 + 2ClO_2 \longrightarrow Ba(ClO_2)_2 + O_2$$

ক্লোরিণ ডাইঅক্সাইডের সাথে ধাতুর বিক্রিয়ায়ও প্রত্যক্ষভাবে একে প্রস্তুত করার উল্লেখ আছে।

13.16d(i) হ্যালিক অ্যাসিড ও হ্যালেট ঃ দ্রবণে ক্লোরিক ও ব্রোমিক অ্যাসিডের অস্তিত্বের কথা জানা থাকলেও ক্লোরিক অ্যাসিডকে শতকরা 40 ভাগ ও ব্রোমিক অ্যাসিডকে শতকরা 50 ভাগের বেশী গাঢ় করা সম্ভব হয় নি। দ্রবণ থেকে বিশুদ্ধ অবস্থায় এদের অন্তরণ সম্ভব নয় কারণ অন্তরিত করতে গেলে এই অ্যাসিডগুলি ভেঙ্গে যথাক্রমে পারক্লোরিক অ্যাসিড, ক্লোরিণ-ডাই অক্সাইড ও জল এবং ব্রোমিন অক্সিজেন ও জল সৃষ্টি করে

$$3HClO_3 = HClO_4 + 2ClO_2 + H_2O$$
$$4HBrO_3 = 2Br_2 + 5O_2 + 2H_2O$$

কিন্তু আয়োডিনকে ক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণ, গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড, হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড, ওজোন (এ ক্ষেত্রে জলের উপস্থিতি প্রয়োজন) বা ক্লোরিণের জলীয় দ্রবণ—ইত্যাদির যে কোন একটির সাহায্যে জারিত করলে স্থায়ী (অভঙ্গুর) কঠিন, সাদা আয়োডিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। এছাড়া বেরিয়াম আয়োডেট ও সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া করেও আয়োডিক অ্যাসিডের প্রস্তুতি সম্ভব। আয়োডিক অ্যাসিডের বর্ণহীন রম্বিক (Rncmbic) কেলাস 110° তাপাংকে গলিত হয়ে গিয়ে দ্রবণ ও $3I_2O_5.H_2O$ হিসাবে বর্তমান থাকে। ক্লোরিক ও ব্রোমিক অ্যাসিডের দ্রবণ তাদের বেরিয়াম ধাতু যুক্ত লবণের সঙ্গে সালফিরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করার পর বিক্রিয়াজাত বেরিয়াম সালফেট থেকে ফিলটার করে পৃথক করা হয়। সমস্ত হ্যালিক অ্যাসিডই তীব্র অ্যাসিড ও প্রবল জারক ; এর প্রমান তারা বহুল সংখ্যক ক্ষারক ও বিজারকের সংগে বিক্রিয়া করে।

সাধারণতঃ হ্যালোজেন ও উত্তপ্ত ক্ষারের বিক্রিয়াতে বা হাইপোহ্যালাইডের তাপ বিয়োজনে হ্যালেট গঠিত হয়ে থাকে। শিল্পে, উত্তপ্ত হ্যালাইডের দ্রবণকে মধ্যচ্ছদা-বিহীন (Diaphragm less) তড়িৎকোষে তড়িত-বিশ্লেষণ করে এই যৌগ প্রস্তুত করা হয়। প্রায় সকল ক্লোরেটই জলে দ্রবণীয়, ব্রোমেটগুলি অপেক্ষাকৃত কম এবং আয়োডেটগুলি বিশেষতঃ গুরু ধাতুর আয়োডেটগুলি মাত্রিকভাবে (quantitatively) অদ্রবণীয়। সকল হ্যালেটই তাপে বিয়োজিত হয়। উচ্চ তাপবিয়োজনে ক্লোরেট থেকে ক্লোরাইড ও অক্সিজেন এবং মধ্যম তাপাংকে পারক্লেরেট ও ক্লোরাইড সৃষ্টি হয়। কিন্তু ব্রোমেটের ক্ষেত্রে কোন সময়ে ধাতব অক্সাইড, ব্রোমিন ও অক্সিজেন আবার অন্য অবস্থায় ধাতব অক্সাইড ও ব্রোমাইড গঠিত হয়; কিন্তু পারব্রোমেট কোন সময়েই হয় না। আয়োডেটের ক্ষেত্রে আয়োডিন ও অক্সিজেন, অথবা অক্সাইড আয়োডিন ও অক্সিজেন অথবা পারআয়োডেট ও আয়োডাইড সৃষ্টি হয়। আয়োডেটের আয়োডিক অ্যাসিডের সঙ্গে একত্রে কেলাসিত হয়ে $KIO_3.HIO_3$, $KIO_3.2HIO_3$—এইরূপ যৌগ গঠনের একটা বিশেষ প্রবণতা দেখা যায়; অন্যান্য হ্যালেটের মধ্যে কিন্তু এই ধর্ম দেখা যায় না। আতসবাজি ও দিয়াশলাই শিল্পে ক্লোরেট বিশেষ প্রয়োজনীয় দ্রব্য; ব্রোমেট ও আয়োডেট প্রধানতঃ বৈশ্লেষিক বিকারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

13.16d (ii) পটাশিয়াম ক্লোরেট :

পটাশিয়াম ক্লোরেট তৈরী করবার জন্য শিল্পক্ষেত্রে নিচের দুটি পদ্ধতি সাধারণতঃ ব্যবহার করা হয়।

1. **রাসায়নিক পদ্ধতি :** এই পদ্ধতিতে কাস্ট-আয়রণ পাত্রে স্থিত উষ্ণ মিল্‌ক অব লাইমের দ্রবণের মধ্যে ক্লোরিণ গ্যাস চালিত করে ক্যালসিয়াম ক্লোরেট তৈরী করা হয়। এরপর মধ্যে (অর্থাৎ ক্যালসিয়াম ক্লোরেটের মধ্যে) চূর্ণ পটাশিয়াম ক্লোরাইড যোগ করা হলে জলে অপেক্ষাকৃত কম দ্রবণীয় (দ্রাব্যতা 150°c তাপে 5.7 শতাংশ) পটাশিয়াম ক্লোরেট শীতল অবস্থায় কেলাসিত হয়ে বেরিয়ে আসে। প্রাপ্ত অশোধিত পটাশিয়াম ক্লোরেটকে পুনরায় কেলাসনের দ্বারা শুদ্ধ করা হয়। এই কেলাস মনোক্লিনিক।

$$6Ca(OH)_2 + 6Cl_2 = 5CaCl_2 + Ca(ClO_3)_2 + 6H_2O$$
$$Ca(ClO_3)_2 + 2KCl = CaCl_2 + 2KClO_3$$

2. **তড়িত রাসায়নিক পদ্ধতি :** সোডিয়াম ক্লোরাইডের তড়িতবিশ্লেষণের সময় ক্যাথোড ও অ্যানোডে জাত পদার্থকে অবাধ মিশ্রণের সুযোগ দিলে সোডিয়াম ক্লোরেট গঠিত হয়। এই প্রক্রিয়ায় 85°–90°C তাপে উষ্ণ সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণ, লিটার প্রতি প্রায় 5 গ্রাম হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ও সামান্য সোডিয়াম ডাইক্রোমেটের (লিটার প্রতি 2 গ্রাম) মিশ্রণকে মসৃণ প্ল্যাটিনাম অ্যানোড ও আয়রণ ক্যাথোডের সাথে ভেতরে লেডের দ্বারা প্রলেপিত একটি ইস্পাতের পাত্রে

তড়িতবিশ্লেষণ করা হয়। এর ফলে আনোডে জাত ক্লোরিণ ক্যাথোডে জাত কস্টিক সোডা ও হাইড্রোজেনের মধ্যে প্রথমটির সঙ্গেই বিক্রিয়া করে ও হাইপোক্লোরাইট গঠন করে। হাইড্রোজেন গ্যাস হিসাবে সহজেই নির্গত হয়ে যায়। তড়িত কোষে সর্বদা অ্যাসিড থাকার জন্য দ্রবণে হাইপোক্লোরাস অ্যাসিডও সর্বদাই থাকে। এই হাইপোক্লোরাস অ্যাসিড হাইপোক্লোরাইটকে ক্লোরেটে পরিণত করে। সোডিয়াম ডাইক্রোমেট ক্লোরেট ও হাইপোক্লোরাইটের ক্যাথোডীয় বিজারণ প্রতিহত করে।

$$Cl_2 + 2NaOH = NaCl + NaOCl + H_2O$$

$$2HOCl + NaOCl = NaClO_3 + 2HCl$$

অ্যানোডে কিছু হাইপোক্লোরাইট আয়নও জারিত হয়ে ক্লোরেটে পরিণত হয়।

$$50Cl^- + 8H_2O = 8ClO_3^- + 2Cl^- + 2O_2 + 16H^+$$

তড়িত বিশ্লেষণে প্রাপ্ত দ্রবণকে গাঢ় করলে প্রথমে সোডিয়াম ক্লোরাইড পাওয়া যায় এবং একে ফিলটার করে দূর করা হয়। জনয়িত্রী দ্রবণে অপেক্ষাকৃত বেশী দ্রবণীয় সোডিয়াম ক্লোরেট থাকে ও একে গাঢ়তর করে সোডিয়াম ক্লোরেটের কেলাস পাওয়া যায়। পটাশিয়াম ক্লোরেট পেতে হলে সোডিয়াম ক্লোরেটের দ্রবণকে পটাশিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণের সাথে মিশ্রিত করে কেলাসিত করা হয় ফলে অপেক্ষাকৃত কম দ্রবণীয় পটাশিয়াম ক্লোরেটের কেলাস পাওয়া যায়

$$NaClO_3 + KCl = KClO_3 + NaCl$$

ব্যবহার : 1. বিস্ফোরক পদার্থ রূপে 2. ফোটোগ্রাফিতে ফ্লাশ পাউডার হিসাবে 3. গলার ব্যথার জন্য ব্যবহৃত ঔষধে।

13.16e পারহ্যালিক অ্যাসিড ও পারহ্যালেট :

পারব্রোমিক অ্যাসিড এবং তার থেকে জাত লবণের অস্তিত্বের কথা জানা না থাকলেও অন্যান্য পার-অ্যাসিড ও তাদের লবণের কথা সবিশেষ জানা আছে। সাধারণতঃ জলীয় দ্রবণে পাওয়া গেলেও ভ্যাকুয়াম ডিস্‌টিলেশনে (বা বায়ুশূন্য আধারে পাতিত করলে) বিশুদ্ধ ও অনার্দ্র অবস্থায় এই অ্যাসিড পাওয়া সম্ভব। এইভাবে প্রাপ্ত এই বর্ণহীন তরলের গলনাংক এক অ্যাটমস্ফিয়ার চাপে $-112°$ এবং স্ফুটনাংক $90°$. স্ফুটন তাপমাত্রায় এর কিছু বিয়োজন ঘটে। এই অ্যাসিডের $HClO_4.nH_2O$, ($n=1, 2, 2.5, 3, 3.5$) সংকেতের সমর্থনের অনেকগুলি হাইড্রেট পাওয়া গেছে এবং এদের মধ্যে $HClO_4.H_2O$ বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। অ্যামোনিয়াম পারক্লোরেট ও এর মধ্যে এক্স-রে বর্ণালী চিত্রের (X-ray pattern) সাদৃশ্য থাকার জন্য একে অক্সোনিয়াম বা হাইড্রোনিয়াম পারক্লোরেট বলা হয়। পটাশিয়াম পারক্লোরেটের সাথে তার চারগুণ বেশী ওজনে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে পাতিত করলে $50°$ তাপাংকে গলনশীল এই কেলাস পাওয়া যায়। 72 শতাংশ

বাণিজ্যিক পারক্লোরিক অ্যাসিডে, 2-হাইড্রেটের মোট জলের পরিমাণ অপেক্ষা কিঞ্চিৎ বেশী জল থাকে।

লঘু ও শীতল অবস্থায় পারক্লোরিক অ্যাসিড অত্যন্ত মৃদু জারক, কিন্তু গাঢ় এবং উত্তপ্ত অবস্থায় এর জারণশক্তি এত বৃদ্ধি পায় যে সাধারণ ক্ষমতার বিজারকের সাথেও এই অ্যাসিড প্রচণ্ড বিস্ফোরণ করে বিক্রিয়া ঘটায়। শীতল পারক্লোরিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ায় বহু ধাতু পারক্লোরিক অ্যাসিডের হাইড্রোজেন আয়ন দ্বারা জারিত হলেও পারক্লোরিক অ্যাসিডের অ্যানায়নের কোন বিজারণ হয় না। পক্ষান্তরে উত্তপ্ত অবস্থায়, Cr(O) থেকে Cr (VI)-এর মত অ্যানায়ন-জারণ ক্রিয়ার দৃষ্টান্তও দুর্লভ নয়।

সকল অ্যাসিডের মধ্যে শুধু তীব্রতমই নয় আবার অধিকাংশ পারক্লোরেটই জলে দ্রবণীয়। এই দুই ধর্মের সমন্বয়ের জন্যই পারক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণ ক্ষমতা এত উচ্চ। জারণ ক্ষমতা, আম্লিক শক্তি ও পারক্লোরিক অ্যাসিডের লবণের দ্রবণীয়তার সমন্বয়ের জন্যই বৈশ্লেষিক বিকারক হিসাবে পারক্লোরিক অ্যাসিড বিশেষ মূল্যবান। বিশ্লেষণের কাজে এর সাথে সচরাচর সালফিউরিক বা নাইট্রিক অ্যাসিড মিশিয়ে নেওয়া হয়। যেহেতু পারক্লোরেট আয়নের ধাতব আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে জটিল-আয়ন গঠনের কোন পরিমাপযোগ্য প্রবণতা নেই, সেই কারণে যেখানে জটিল-আয়নের অনুপস্থিতি বিশেষ ভাবে বাঞ্ছনীয় সেই সব কাজে এই অ্যাসিড এর ব্যবহার করা হয়।

সালফিউরিক অ্যাসিড সহযোগে পাতিত করলে পারক্লোরেট থেকে পারক্লোরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। উইলার্ড বর্ণিত ঈষৎ পরিবর্তিত পদ্ধতিতে প্রথমে অ্যামোনিয়াম পারক্লোরেটের সাথে নাইট্রিক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে প্রাপ্ত লঘু দ্রবণকে 198° থেকে 200°C তাপমাত্রায় গাঢ় করে অবশিষ্ট হাইড্রোক্লোরিক ও নাইট্রিক অ্যাসিডকে দূর করা হয় এবং তারপর ভ্যাকুয়ামে পাতন করা হয়।

$$34NH_4ClO_4 + 36HNO_3 + 8HCl \longrightarrow 34HClO_4 + 4Cl_2 + 35N_2O$$
$$73H_2O$$

শিল্পে উৎপাদনের দিক থেকে এই পদ্ধতি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। ক্লোরেটকে তড়িত জারণ করে পারক্লোরিক অ্যাসিডে পরিণত করাও সম্ভবপর।

পারক্লোরিক অ্যাসিডের প্রশমনে, অ্যাসিডের সাথে ধাতুর বিক্রিয়ায়, নিয়ন্ত্রিত অবস্থায় ক্লোরেটের তাপ বিয়োজনে বা শিল্প ক্ষেত্রে ক্লোরেটের তড়িত জারণ করে পারক্লোরেট পাওয়া যায়। পারম্যাঙ্গানেট ও পাররেনেটের সাথে পারক্লোরেটের বহুল সাদৃশ আছে এবং এরা পরস্পর সমাকৃতিক। সিজিয়াম, রুবিডিয়াম, পটাশিয়াম ও স্বল্প পরিমাণে অ্যামোনিয়াম পারক্লোরেটের জলে দ্রবণীয়তা সীমিত। এ ছাড়া অন্যান্য পারক্লোরেটগুলি সাধারণতঃ দ্রবণীয়। পারক্লোরিক অ্যাসিড অপেক্ষা পার-ক্লোরেটগুলি মৃদু জারক হলেও উচ্চ তাপাংকে এরা প্রচণ্ড ভাবে বিক্রিয়া করে। অনার্দ্র বেরিয়াম ও ম্যাগনেশিয়াম পারক্লোরেট বিশোষক (desiccant) হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

অ্যাসিড এবং অ্যাসিড লবণ হিসাবেই পার আয়োডিক অ্যাসিডের অস্তিত্ব জানা আছে। এই অ্যাসিডগুলিকে কাল্পনিক আয়োডিন (VII) অক্সাইডের হাইড্রেট I_2O_7, nH_2O বলা যেতে পারে। এদের মধ্যে সবচেয়ে সুপরিজ্ঞাত প্যারা পার আয়োডিক অ্যাসিড I_2O_7, $5H_2O$ বা H_5IO_6. বর্ণহীন মনোক্লিনিক কেলাস যুক্ত এই অ্যাসিড 140°C তাপে গলিত হবার সময় কিছুটা আয়োডিক অ্যাসিড, জল ও অক্সিজেনে (সামান্য ওজোন সহ) বিযোজিত হয়। ভ্যাকুয়ামে 80° তাপাংকে কিছু জল নির্গত হয়ে 2– হাইড্রেট, $I_2O_7.2H_2O$ বা $H_4I_2O_9$ অর্থাৎ ডাইমেসোপার আয়োডিক অ্যাসিড এবং 100°C তাপে 1–হাইড্রেট, $I_2O_7.H_2O$ বা HIO_4 অর্থাৎ মেটাপারআয়োডিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। প্রকল্পিত 3–হাইড্রেট $I_2O_7.3H_2O$ বা H_3IO_5 মেসোপারআয়োডিক অ্যাসিডের লবণের কথাও জানা আছে। আয়োডিন পরমাণুর বর্দ্ধিত আকারের জন্যই অক্সিজেনের ছ'টি পরমাণুর পক্ষে আয়োডিনের চতুষ্পার্শ্ব ঘিরে একটা স্থায়ী বিন্যাস রচনা সম্ভব, কিন্তু অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্রাকার ক্লোরিণ পরমাণুর ক্ষেত্রে চারের বেশী সংখ্যক অ্যাটমের সংস্থান সম্ভব নয়। IO_6^{5-} অষ্টতলক, কিন্তু IO_4^- চতুস্তলক।

পারআয়োডিক অ্যাসিডগুলি একই সাথে তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র জারক। জারক হিসাবে তাদের প্রকৃতি আয়োডিক অ্যাসিডের সদৃশ্য, কিন্তু তীব্রতা বেশী। বহু ধাতু, অধাতু ও জৈব-অজৈব বহু যৌগকে জারিত করার সক্ষমতার জন্যই পার আয়োডিক অ্যাসিড বহু বৈশ্লেষিক পদ্ধতিতে নতুন পথ প্রদর্শন করতে পেরেছে। যদিও পারআয়োডিক অ্যাসিড ও পারআয়োডেটগুলি থেকে বিক্রিয়াকালে ওজোন নির্গত হয় কিন্তু আম্লিক দ্রবণে H_2O_2 উদ্ভূত না হবার জন্য বা পারঅক্সাইড জারণে তাদের উৎপত্তি না হবার জন্য এদের পারক্সি অ্যাসিড বলা যাবে না। মেসোসিলভার লবণ Ag_3IO_5 এর সাথে ক্লোরিণের বিক্রিয়া করিয়ে, অধঃক্ষেপকে ফিলটার করে, ও ফিলট্রেটকে কেলাসিত করে প্যারাপারআয়োডিক অ্যাসিড তৈরী করা যাবে। কিন্তু এর চেয়ে উৎকৃষ্ট পদ্ধতি হচ্ছে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে বেরিয়াম প্যারা পারআয়োডেটের বিক্রিয়া এবং অধঃক্ষিপ্ত বেরিয়াম নাইট্রেটকে দূর করে দ্রবণের কেলাসন। শিল্পে আয়োডিক অ্যাসিডের তড়িত জারণ করে উক্ত যৌগ তৈরী করা হয়।

13.16। সিউডো-হ্যালোজেনঃ (ছদ্ম হ্যালোজেন)

কিছু সংখ্যক অজৈব যৌগের কতকগুলি মূলকের কথা জানা আছে, যারা মুক্ত অবস্থায় ধর্ম ও প্রকৃতিতে হ্যালোজেন মৌলের তুল্য এবং অ্যানায়ন হিসাবে থাকাকালীন অবস্থায় ধর্মে ও প্রকৃতিতে হ্যালাইড আয়নের সঙ্গে তুলনীয়। ব্রাউন ও তার সহকর্মীগণ এদের হ্যালোজেনাইড এবং বির্কেনবাখ ও কেলারমান এদের সিউডো-হ্যালোজেন বলে আখ্যাত করেছেন। ভালডেন ও অড্রেথের সংজ্ঞানুসারে হ্যালোজেনাইড হ'ল "দুই বা তার অধিক ইলেকট্রোনেগেটিভ পরমাণুযুক্ত একযোজী পরমাণুপুঞ্জ যাদের

মধ্যে মুক্তবস্থায় হ্যালোজেন ধর্ম প্রকাশিত এবং হাইড্রোজেনের সাথে যুক্ত হয়ে যারা অ্যাসিড ও সিলভারের সাথে একটি জলে অদ্রবণীয় লবণ গঠন করে।”

রসায়ন শাস্ত্রে, হ্যালোজেনাইড পদার্থ বলতে মুক্ত অণুমণ্ডলী, (molecular group) যাদের আখ্যা দেওয়া যেতে পারে হ্যালোজেনাইড বলে, এবং অ্যানায়ন সমূহ, যাদের বলা যেতে পারে হ্যালোজেনাইড আয়ন—উভয়কেই বোঝায়। যে সব হ্যালোজেনাইডের কথা প্রশ্নাতীত ভাবে জানা গেছে তারা হ'ল—সায়ানোজেন $(CN)_2$, থায়োসায়ানোজেন $(SCN)_2$ বা $(SCN)x$; সেলেনোসায়ানোজেন $(SeCN)_2$ এবং অ্যাজিডো কার্বন ডাই সালফাইড $(SCSN_3)_2$. হ্যালোজেনাইড আয়নগুলির মধ্যে উল্লেখ্য হল: সায়ানাইড CN^-, থায়োসায়ানেট, SCN^-, সেলেনোসায়ানেট $SeCN^-$, টেলুরোসায়ানেট $TeCN^-$, অ্যাজিডোডাইথায়োকার্বনেট $SCSN_3^-$; সায়ানেট OCN^- ফুলমিনেট ONC^- এবং অ্যাজাইড N_3^-।

হ্যালোজেনাইড ও হ্যালোজেনের মধ্যে সাদৃশ সবিশেষ লক্ষ্যণীয়। ভালডেন ও অড্রেথের গবেষণা থেকে জানা যায় হ্যালোজেনের মত হ্যালোজেনাইডগুলিও

1. মুক্ত অবস্থায় সাধারণতঃ মোটামুটি উদ্‌বায়ী (অবশ্য বহু সংযোজিত থায়োসায়ানোজেন এর ব্যতিক্রম)

2. মুক্ত এবং কঠিন অবস্থায় প্রায়শঃই সমাকৃতিক।

3. ধাতুর সাথে বিক্রিয়ায় লবণ উৎপন্ন করে ; সিলভার. মার্কারী (I) ও লেডের (II) যৌগগুলি জলে অদ্রবণীয়।

4. হাইড্রোজেনের সাথে হাইড্রাসিড গঠন করে এবং এই অ্যাসিডগুলি প্রচুর পরিমাণে বিয়োজিত হয়।

5. আন্তর্হ্যালোজেন যৌগের সদৃশ CNN_3-এর ন্যায় যৌগ গঠন করে।

6. পলি হ্যালাইড জটিল-যৌগের সদৃশ পলিহ্যালোজেনাইড জটিল যৌগ, $Cs(SeCN)_3$ গঠন করে।

7. হ্যালোজেন যৌগের বিশিষ্টতাসূচক ডবল ও জটিল যৌগের মত অনুরূপ $K_2[Hg(SCN)_4]$, $Na[Ag(CN)_2]$ যৌগ গঠন করে) এবং

8. হাইড্রাসিড ও তাদের লবণের রাসায়নিক বা তড়িত-জারণ করে অথবা যে সব যৌগে মৌল উচ্চতর যোজ্যতায় বর্তমান, তাদের তাপ বিযোজনের দ্বারা এদের তৈরী করা যেতে পারে।

নিচের তুলনামূলক আলোচনা থেকে হ্যালোজেন ও হ্যালোজেনাইডের সাদৃশ্য আরও বিশেষভাবে সমর্থিত হয়।

1. সদৃশ ধর্ম ও সংযুক্তি বিশিষ্ট যৌগ গঠন যেমন $COCl_2$ ও $CO(N_3)_2$ SO_2Cl_2 ও $SO_2(N_3)_2$, ICl ও ICN, $SiCl_4$ ও $SiC(NCS)_4$

2. হাইড্রক্সিল আয়নের সাথে মুক্ত অনুমণ্ডলীর বিক্রিয়া

$$Cl_2 + 2OH^- \rightarrow Cl^- + OCl^- + H_2O$$
$$(CN)_2 + 2OH^- \rightarrow CN^- + OCN^- + H_2O$$

3. হাইড্রাসিডের সাথে জারকের বিক্রিয়া

$$MnO_2 + 4H^+ + 2Cl^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O + Cl_2$$
$$MnO_2 + 4H^+ + 2SCN^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O + (SCN)_2$$

4. লেড (IV) যৌগের তাপবিযোজন

$$PbCl_4 \rightarrow PbCl_2 + Cl_2$$
$$Pb(SCN)_4 \rightarrow Pb(SCN)_2 + (SCN)_2$$

5. মুক্ত অনুমণ্ডলীর ইথিলিনীয় দ্বিবন্ধনীতে সংযুক্তি

$$H_2C = CH_2 + Cl_2 \rightarrow \begin{array}{l} CH_2Cl \\ | \\ CH_2Cl \end{array}$$

$$\begin{array}{c} CH_2 \\ \| \\ CH_2 \end{array} + (SCN)_2 \rightarrow \begin{array}{l} CH_2.SCN \\ | \\ CH_2.SCN \end{array}$$

মুক্ত হ্যালোজেন ও হ্যালোজেনাইডের জারন ক্ষমতা নিম্ন ক্রমানুসারে হ্রাস পায়

F_2, Cl_2, Br_2, $(CN)_2$, $(SCN)_2$, I_2 $(SCSN_3)_2$, $SeCN)_2$

মুক্ত হ্যালোজেনাইড ঃ

(ক) সায়ানোজেন ঃ মুক্ত হ্যালোজেনাইডের মধ্যে সায়ানোজেন বিশেষ উল্লেখযোগ্য। বর্ণহীন, বিষাক্ত, জলে দ্রবনীয় এই গ্যাসকে সহজেই তরলে পরিণত করা যায়। তরলের স্ফুটনাংক ও হিমাংক যথাক্রমে —21·17°C ও 27 9°C। বহু-সংযোজিত হয়ে সায়ানোজেন 500°C তাপে অদ্রবনীয় প্যারাসায়ানোজেনে $(CN)_x$ পরিণত হয়।

সিলভার, গোল্ড বা মার্কারির মত অক্রিয়াশীল কোন ধাতুর সায়ানাইডকে উত্তপ্ত করেও সায়ানেজেন পাওয়া যায় জলীয় দ্রবণে সায়ানাইড আয়নের জারণের ফলেও বা গলিত সায়ানাইডের তড়িত-জারণে সায়ানোজেন তৈরী হতে পারে।

$$2Cu^{2+} + 6CN^- \rightarrow 2[Cu(CN)_2]^- + (CN)_2$$
$$2CN^- \rightarrow (CN)_2 + 2e^-$$

(খ) থায়োসায়ানোজেন ঃ জেয়োডারবেক প্রথম ইথার দ্রবণে সূক্ষ্ম ভাসমান সিলভার থায়েসানেট কণাকে আয়োডিন বা ব্রোমিন দিয়ে জারিত করে থায়োসায়া-নোজেন লাভ করেন। থায়োসায়ানিক অ্যাসিডকে ম্যাঙ্গানিজ ডাই অক্সাইড দিয়ে জারিত করলে স্বল্প পরিমাণে বা অ্যালকোহলীয় দ্রবনে থায়োসায়ানেটের তড়িত বিশ্লেষণেও মুক্ত হ্যালোজেনাইড লাভ করা যায়। লেড (IV) অ্যাসিটেটের সাথে

ইথারীয় দ্রবনে থায়োসায়ানিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া থেকেও $(SCN)_2$ উৎপন্ন করা যায়। $-70°C$ ইথাইল শীতল করা ইথাইল ক্লোরাইড বা ব্রোমাইড বা ডাই ইথাইল ইথার দ্রবন থেকে কেলাসনে প্রাপ্ত থায়োসায়ানোজেন $-2°$ থেকে $-3°$ তাপাংকে দ্রবীভূত হয়ে হলুদ তেলে পরিণত হয় এবং একসাথে বহুসংযোজনের ফলে স্বাভাবিক তাপমাত্রায় অদ্রবণীয় ইটের মত লাল প্যারাথায়েসায়ানোজেন $(SCN)_x$ যৌগে পরিণত হয়।

আয়োডিনের মত থায়োসায়ানোজেনও টাইট্রিমিতিক জারক (Titrimetric Oxidising agent) হিসাবে ও জৈব যৌগের অপরিপৃক্ততা নিরূপনে ব্যবহৃত হয়। এই সব বিক্রিয়া থেকে প্রতীত হয় যে থায়োসায়ানোজেনের গঠন।

:S̈: :S:C: : :N: না হয়ে   :S̈:C: : :N:
C̈: : :N: :S̤:C: : :N:

হওয়া স্বাভাবিক।

(গ) সেলেনোসায়ানোজেন : ভ্যাকুয়ামে এবং শুষ্ক অবস্থায় মোটামুটি স্থায়ী সেলেনোসায়ালোজেন একটি হলদে পাউডার হিসেবে পাওয়া গেলেও সাধারণতঃ এটা একটা লাল পদার্থে পরিণত হয়। আয়োডিন অপেক্ষা সামান্য কম শক্তিমান এই পদার্থ মিথানলে দ্রবীভূত পটাশিয়াম সেলেনোসায়ানেটের তড়িৎ বিশ্লেষণে তৈরী করা যায়। অপেক্ষাকৃত উৎকৃষ্ট পদ্ধতি হল অনার্দ্র অ্যাসিটোনে মিশ্রিত পটাশিয়াম সেলোনোসায়ানেটের সাথে ক্লোরোফর্মে দ্রবীভূত লেড (IV) অ্যাসিটেটের বিক্রিয়া। অথবা ইথারে দ্রবীভূত আয়োডিনের সাথে অতিরিক্ত পটাশিয়াম সেলেনোসায়ানেট মিশিয়ে $10°$ তাপাংকের নীচে বিক্রিয়া।

(ঘ) অ্যাজিডোকার্বনডাইসালফাইড : একটি সাদা কেলাস. অস্থায়ী এবং নিচের বিক্রিয়ানুযায়ী প্রচণ্ডভাবে বিস্ফোরিত হয়

$$(SCSN_3)_2 \rightarrow 2N_2 + 2S + (SCN)_2$$

পটাশিয়াম অ্যাজিডোডাইথায়োকার্বনেটকে. $KSCSN_3$ হাইড্রোজেন পারক্সাইড, পটাশিয়াম আয়োডেট, পটাশিয়াম ক্রোমেট, মারকারি (II) ক্লোরাইড, ক্লোরিণ, ব্রোমিন বা আয়োডিন দিয়ে 'জারিত করে এই যৌগ প্রস্তুত করা যায়। এর সম্ভাব্য গঠন হল।

```
                        S
                        ‖
N≡N═N—C—S—S—C—N═N≡N
      ‖
      S
```

অক্সি-সায়ানোজেন : এর অস্তিত্ব সম্বন্ধে পরিষ্কার কোনো প্রমান নেই, যদিও লিডোভ পটাশিয়াম সায়ানেটকে H_2O_2, CuO বা সোডিয়াম হাইপোব্রোমাইট দিয়ে জারিত করে প্রস্তুত করা যায় বলে দাবী করেছেন।

পলিহ্যালোজেনাইড ও পলিহ্যালাইড হ্যালোজেনাইড ঃ

এই সব যৌগগুলির মধ্যে কেবলমাত্র হ্যালোজেনাইড গ্রুপ বা হ্যালোজেন ও হ্যালোজেনাইড উভয় গ্রুপই থাকতে পারে। এর দৃষ্টান্ত অ্যামোনিয়াম ট্রাইথায়োসায়ানেট $NH_4(SCN)_3$। $-6°C$ নীচে স্থায়ী এই যৌগ KI_3—এর সদৃশ।

আন্তর্হ্যালোজেন-হ্যালোজেনাইড ঃ এই শ্রেণীর বিশেষতঃ CN গ্রুপ ও একটি হ্যালোজেন যুক্ত যৌগগুলি সুপরিচিত। ক্ষারীয় সায়ানাইড বা হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিডের সাথে নিম্নতাপে নিষ্ক্রিয় পরিবেশে ক্লোরিণ বা ব্রোমিনের বিক্রিয়ায় সায়ানোজেন ক্লোরাইড বা ব্রোমাইড তৈরী করা যায়।

এই শ্রেণীর অন্যান্য যৌগগুলির মধ্যে ক্লোরাজাইড ClN_3, ব্রোমাজাইড BrN_3 উল্লেখযোগ্য। স্বাভাবিক তাপাংকে ইথারে ভাসমান সিলভার অ্যাজাইডের সূক্ষ্ম কণাকে ক্লোরিণ দিয়ে বা সোডিয়াম অ্যাজাইড ও সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইটের জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়া ও পরে বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থের পাতনদ্বারা এর প্রস্তুতি করা যেতে পারে। ক্লোরোফর্মে থায়োসায়ানোজেন ও ক্লোরিণের বিক্রিয়া SCNCl-এর সাদা কেলাস গঠন করে।

আন্তর্হ্যালোজেনাইড ঃ কতকগুলি হ্যালোজেনাইডের সায়ানোজেন যুক্ত একশ্রেণীর জাতকযৌগের (derivative) গঠন করার কথা জানা গেছে। সায়ানোজেন থায়োসায়ানেট CNSCN, সায়ানোজেন সেলেনোসায়ানেট CNSeCN, সায়ানোজেন অ্যাজাইড CNN_3 সায়ানোজেন অ্যাজিডোডাই থায়োকার্বনেট $CNSCSN_3$। নিম্ন তাপে গলনীয় তুলনামূলকভাবে উদ্‌বায়ী, কেলাসিত এই পদার্থগুলি নিচে বর্ণিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে তৈরী করা যায়

$$Hg(CN)_2 + 2(SCN)_2 \longrightarrow Hg(SCN)_2 + 2\,CNSCN$$
$$CNBr + NaN_3 \longrightarrow NaBr + CNN_3$$
$$CNBr + NaSCSN_3 \longrightarrow NaBr + CNSCSN_3$$
$$Hg(CN)_2 + 2(SCSN_3)_2 \longrightarrow Hg(SCSN_3)_2 + 2CNSCSN_3$$

13 16g আন্তর্হ্যালোজেন যৌগ ঃ ইলেকট্রোনেগিটিভিটির পার্থক্যের জন্য হ্যালোজেন মৌলগুলি পরস্পর নিজেরা যুক্ত হয়ে এক ধরনের যৌগ গঠন করে যাদের $XX'n$ এই সাধরণ সংকেত দ্বারা সূচিত করা যায়। এই সব যৌগগুলিকে আন্তর্হ্যালোজেন যৌগ বলা হয়। X ও X′ এই দুই প্রকারের হ্যালোজেন মৌলের মধ্যে X′ মৌলটি অপেক্ষাকৃত বেশী ইলেকট্রোনেগেটিভ ও n (যার মান=1,3,5 বা 7) X′-মৌলের সংখ্যা নির্দেশ করে।

আন্তর্হ্যালোজেন যৌগ দুই হ্যালোজেনের সরাসরি সংযোগে অথবা অধস্তন আন্তর্হ্যালোজেন যৌগ ও হ্যালোজেনের বিক্রিয়ায় গঠিত হতে পারে। এই সব বিক্রিয়াগুলির তীব্রতা সংশ্লিষ্ট হ্যালোজেনগুলির ইলেকট্রোনেগেটিভিটির উপর নির্ভরশীল। যে সব যৌগগুলিতে কোন এক প্রকারের এক, তিন, পাঁচ বা সাতটি হ্যালোজেন পরমাণু অপর

একটি হ্যালোজেন পরমাণুর সাথে যৌগ গঠন করেছে তাদের দ্বিপারমাণবিক আন্তর্হ্যালোজেন ও মুক্ত হ্যালোজেন অণুর যুতযৌগ বলে মনে হলেও তাদের ধর্ম সহযোজী যৌগের মত এবং এদের গঠন একটি কেন্দ্রস্থ হ্যালজেন পরমাণুর চতুষ্পার্শ্বে সহযোজী বন্ধনে যুক্ত অন্য হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা বেষ্টিত বলে বিবেচনা করাই সমীচীন। এই সব যৌগে ক্ষুদ্রতর আকৃতির হ্যালোজেন পরমাণু অবশ্যই বেশী পরিমাণে বা সংখ্যায় থাকে এবং বৃহত্তর আকৃতির হ্যালোজেন পরমাণুটি কেন্দ্রস্থ পরমাণু হিসাবে থাকে। এবং কেন্দ্রস্থ পরমাণুর আকার বৃদ্ধি পাবার সাথে সাথে এর সহযোজ্যতা, অন্য হ্যালোজেন পরমাণুর জন্য স্থান-সংকুলান (accomodation) ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়, এর উদাহরণ ClF_3, BrF_5, IF_7।

যদিও এদের সরলতর আন্তর্হ্যালোজেন যৌগগুলির গঠন সরলরৈখিক কিন্তু তাদের উচ্চতর যৌগগুলির বিষয় কিছু জানা নেই। তবে একথা পরিষ্কার যে XX'_7 ধরনের যৌগে কেন্দ্রস্থিত পরমাণুর সব ইলেকট্রনগুলি জোড়বদ্ধ নয়। যেহেতু এই অ-ব্যবহৃত ইলেকট্রনযুগলের ওপর মৌলের অন্যান্য বন্ধন বা যোজকের অবস্থান অনেকাংশে নির্ভর করে কাজেই তাদের সুনির্দিষ্ট আকার আছে বলে অনুমান করা যেতে পারে। ICl_3, উদাহরণ হিসাবে বলা যেতে পারে একটি ট্রাইগোনাল বাইপিরামিড ; এর তিনটি ক্লোরিণ পরমাণু একই তলে আয়োডিনের চতুষ্পার্শ্বে ছড়িয়ে আছে এবং অব্যবহৃত ইলেকট্রন যুগল দুটি—দুটি শীর্ষের দিকে নির্দেশিত। এই বিন্যাস d^2s বা sp^2 ধরণের বন্ধনের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ। এভাবেই বলা যেতে পারে আয়োডিন পেণ্টাক্লোরাইড একটি স্কোয়ার পিরামিড ; এর চারিটি ক্লোরিণ ও অ-ব্যবহৃত ইলেকট্রন যুগল অষ্টতলকের পঞ্চম ও ষষ্ঠ স্থান অধিকার করে আছে। এদের ক্ষেত্রে d^2sp^3 ধরনের বন্ধন হওয়াই সম্ভব।

প্রস্তুতি : 1. ক্লোরিণ মনোফ্লোরাইড, ক্লোরিণ ও ফ্লোরিণকে একটি নিকেলের টিউবে 200° তাপে উত্তপ্ত করে তৈরী করা যায়। অতিরিক্ত ক্লোরিণ থাকলে 280°C তাপে ClF_3 গঠিত হয়। ব্রোমিন মনোফ্লোরাইড তৈরী করা যায় 10°C তাপে নাইট্রোজেন মিশ্রিত ব্রোমিনের সাথে ফ্লোরিণের বিক্রিয়ায়। 200°C তাপে অতিরিক্ত ফ্লোরিণের উপস্থিতিতে BrF_5 গঠিত হয়। উভয়কে অংশায়িত পাতনের দ্বারা পৃথক করা যায়। আয়োডিনকে ফ্লোরিণে দহন করলে IF_5 পাওয়া যায়। এই IF_5কে অতিরিক্ত ফ্লোরিণের প্রবাহে 280°C তাপে রিফ্লাক্স (Reflux) করলে IF_7 পাওয়া যায়। আয়োডিন মনোক্লোরাইড ও মনোব্রোমাইড এদের উপাদানগুলির মধ্যে প্রত্যক্ষ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়।

ধর্ম : XX' ধরনের আন্তর্হ্যালোজেনগুলি ধর্মে মুক্ত হ্যালোজেনের সমতুল্য। বহু ধাতু ও অধাতুর সাথে জারক হিসাবে এরা বিক্রিয়া করে বিভিন্ন হ্যালাইডের মিশ্র গঠন করতে পারে। মুক্ত হ্যালোজেন ক্লোরিণ বা ব্রোমিনের মত ICl—ও ইথিলিনীয় দ্বি-বন্ধনীতে যুক্ত হতে পারে। এই XX' ধরনের আন্তর্হ্যালোজেনগুলি আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়। ICl ও ICl_3 অ্যাসিড-ক্ষার বিক্রিয়ায় দ্রাবকের মত কাজ করতে পারে। বিশুদ্ধ ICl-এ $SbCl_5$ যোগ করলে দ্রবণের বিদ্যুত পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়।

13.16h পলিহ্যালাইড

আণবিক হ্যালোজেন বা আন্তর্হ্যালোজেনের সাথে হ্যালাইড আয়ন যুক্ত হয়ে (দ্রবণে বা কঠিন অবস্থায়ও) এক ধরনের একযোজী যৌগ গঠন করে। এই সব যৌগের মধ্যে অপেক্ষাকৃত বেশী পরিমানে হ্যালোজেন থাকে ও এদের পলিহ্যালাইড বলা হয়। এর উদাহরণ হিসাবে বলা যেতে পারে KI_3। KI_3, পটাশিয়াম আয়োডাইড ও আয়োডিনের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়।

পলিহ্যালাইডকে তিন শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। এদের Xn^- (যেমন I_3^-), $XX'n^-$ (যেমন ICl_4^-) ও $XX'X''n^-$ (যেমন $IBrCl^-$) সাধারণ সংকেত দিয়ে নির্দেশিত করা যায়। পলিহ্যালাইড তৈরী করার বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি নিচে দেওয়া হল :

(ওয়েলস্, ক্রেমার ও ডানকান বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে)

1. হ্যালোজেনকে হ্যালাইডের সাথে সরাসরি সংযুক্ত করে। যেমন $CsI + I_2$ থেকে CsI_3 ; KI ও Cl_2 থেকে $KICl_4$

2. আন্তর্হ্যালোজেনকে হ্যালাইডের সাথে যুক্ত করে, যেমন NaBr + IBr (বাষ্প) থেকে $NaIBr_2$., NH_4Br ও ইথানলের দ্রবণে স্থিত IBr—এর বিক্রিয়ায় NH_4IBr_2 ; $CsCl + ICl_3$ (বাষ্প) থেকে $CsICl_4$

3. হ্যালোজেন পরমাণুর একটিকে প্রতিস্থাপিত করে যেমন $CsBr_3 + I_2$ থেকে $CsIBr_2$

4. আন্তর্হ্যালোজেন অণুর একটি হ্যালোজেন পরমাণুকে অন্য হ্যালোজেন দ্বারা প্রতিস্থাপিত করে যেমন $CsICl_2 + IBr$ এর বিক্রিয়া থেকে $CsIBr_2$

5. অন্য পলিহ্যালাইড সমন্বিত বিক্রিয়ায় যেমন $RbICl_2$, $HICl_2$ ও RbCl এর বিক্রিয়ায় প্রাপ্ত।

13.16i ক্যাটায়নীয় আয়োডিন : বা আয়োডিনের ক্ষারক ধর্ম

পর্যায় সারণী অনুধাবন করলে দেখা যায় যে একই বিভাগের মৌলগুলির মধ্যে পরমাণু ক্রমাংক বাড়ার সাথে সাথে ক্ষারক ধর্ম বা ধাতুধর্ম বৃদ্ধি পায়। যেমন পঞ্চম গ্রুপে নাইট্রোজেন, ফসফোরাস অধাতু হলেও এই বিভাগের শেষ মৌল বিসমাথ একটি ধাতু। কাজেই এটা ভাবা খুবই সমীচীন যে আয়োডিনে হয়ত ক্ষারক ধর্মের কিছু প্রকাশ থাকবে। এই আয়োডিনের ক্ষেত্রে ইলেকট্রোনেগেভিটি ক্রমশঃ কমতে কমতে এমন স্তরে এসে পৌছছে যে আয়োডিনের ক্ষেত্রে পজিটিভ ক্যাটায়নের অস্তিত্ব আছে। ICl ও ICl_3 এই দুই যৌগ I^+ ও I^{3+} অর্থাৎ মনো ও ট্রাইপজিটিভ আয়োডিন সমন্বিত। তরল আয়োডিন মনোক্লোরাইড ও ট্রাইক্লোরাইড বিদ্যুত পরিবাহী। এমন কি জৈব দ্রাবকেও তারা বিদ্যুত পরিবহন করতে পারে ; এবং তড়িত বিশ্লেষণের সময় আয়োডিন ক্যাথোডে ধাবিত হয়। সম্ভবতঃ তাদের এই প্রকারে আয়নন ঘটে।

$$2ICl \rightleftharpoons I^+ + ICl_2^- \quad ; \quad 2ICl_3 \rightleftharpoons ICl_2^+ + [ICl_4]^-$$

ইউনিপজিটিভ আয়োডিনের স্থায়ী যৌগ পিরিডিন ইত্যাদি জৈব ক্ষারের সাহায্যে

তৈরী করা গেছে। ক্লোরোফর্মের দ্রবণে $AgNO_3$ বা $AgClO_4$, এবং আয়োডিন ও পিরিডিনের বিক্রিয়া ঘটিয়ে $[IPyr_2]NO_3$, $[IPyr_2]ClO_4$ ইত্যাদি যৌগ তৈরী করা গেছে। $[IPyr_2]NO_3$ যৌগের ক্লোরোফর্ম দ্রবণকে তড়িতবিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে আয়োডিন নির্গত হয়।

ট্রাইপজিটিভ আয়োডিন যুক্ত আয়োডিনের উল্লেখযোগ্য যৌগগুলি হল: আয়োডিন অ্যাসিটেট $I(CH_3COO)_3$, [বর্ণহীন ষষ্ঠতলক কেলাস; সবুজাভ হলুদ; আয়োডিন পারক্লোরেট $I(ClO_4)_3.H_2O$ ও হলুদ IPO_4 আয়োডিন ফসফেট। শেষোক্ত যৌগ জলে বিশ্লেষিত হয়ে আয়োডিন ও আয়োডিক অ্যাসিড গঠন করে।

I_4O_9 ও I_2O_4 কে যথাক্রমে আয়োডিক (III)আয়োডেট $I(IO_3)_3$ এবং আয়োডিল আয়োডেট $[IO][IO_3]$ বলা যেতে পারে।

প্রশ্নাবলী

1. হ্যালোজেন মৌলগুলির নিজেদের মধ্যে ও তাদের মুখ্য যৌগগুলির সম্বন্ধে তুলনামূলক একটি আলোচনা কর।

   Compare the physical and chemical properties of halogen elements and their principle compounds.

   [সংকেত: অনুচ্ছেদ 13.1 দেখ]

2. ময়সাঁ কর্তৃক ফ্লোরিণ তৈরী করার পদ্ধতিটি বর্ণনা কর। এর পথে কি কি অন্তরায় ছিল ও তারজন্য যে সমস্ত পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়েছিল,তার যৌক্তিকতা বিচার কর।

   Give an account of the preparation of fluorine by Moissan pointing out the difficulties in its isolation. Give the reasons for the procedure adopted.

   [সংকেত: অনুচ্ছেদ 13.3b দেখ]

3. ফ্লোরিণ প্রস্তুতির বর্তমান পদ্ধতিগুলির বিবরণ দাও। ফ্লোরিণের সাথে নিম্নোক্ত পদার্থগুলির কি বিক্রিয়া হয়?

   (ক) জল (খ) কস্টিক সোডা (গ) পটাশিয়াম ক্লোরাইড ও (গ) সালফার।

   Give an account of the modern methods for the preparation of fluorine. What is the action of fluorine on (a) water (b) caustic soda (c) potassium chloride and (d) sulfur.

   [সংকেত: অনুচ্ছেদ 13.3c, 13.3d দেখ]

4. কি প্রকারে ও কি কারণের জন্য ফ্লোরিণ অন্যান্য হ্যালোজেন মৌল থেকে পৃথক? অনার্দ্র হাইড্রোফ্লোরিক অ্যাসিডের প্রস্তুত প্রণালী লেখ। কি ভাবে বিশ্লেষণের সময় ফ্লোরাইড মূলক সনাক্ত করা হয়? কাচ খোদাই কি?

   Why and how does fluorine differ from other halogens. Give the preparation of anlydrous hydrofluoric acid. How are the fluorides detected in analysis? What is etching of glass?

   [সংকেত: অনুচ্ছেদ 13.1, 13.5a, 13.5c, 13.5e দেখ]

5. ক্লোরিণের অক্সাইড ও অক্সি অ্যাসিডগুলিকে শ্রেণীবদ্ধ কর এবং তাদের স্থষ্ট যৌগগুলির তুলনামূলক আলোচনা কর।

   Classify the oxides and oxy acids of chlorine and give a comparative study of these compounds.

   [সংকেত: অনুচ্ছেদ 13.13 এবং 13.16a, 13.16b, 13.16c, 13.16d ও 13.16э থেকে সংক্ষেপে লেখ। সংক্ষেপ করার জন্য 13.1 দেখ]

6. কি কি সাধারণ পদ্ধতিতে হ্যালোজেন হাইড্রাসিড তৈরী করা যেতে পারে ? কি উদ্দেশ্যে একে ব্যবহার করা হয়। কি ভাবে এর আণবিক সংকেতকে সঠিক প্রতিপন্ন করা যেতে পারে ?
What are the general mothods of the preparation of halogen hydracids ? For what purpose is this used ? How would you establish its moleculer formula ?
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.2, 13.9b, (ii) ও 13.10 দেখ]

7. পটাশিয়াম ক্লোরেট অথবা ব্লিচিং পাউডারের প্রস্তুত প্রণালী লেখ। "প্রাপ্তব্য ক্লোরিণ" বলতে কি বোঝ ? ব্লিচিং পাউডারকে (ক) লিথার্জ-এর সাথে উত্তপ্ত করলে, এবং (খ) বাতাসে রেখে দিলে কি হয় ?
Give the methods of preparations of potassium chlorate or bleaching powder. What is meant by "available chlorine"? What happens when bleaching powder (a) is boiled with litherage (b) is left to the atmosphere.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.16b (ii) 13.16d (ii) দেখ]

8. ব্রোমিনের মুখ্য উৎসগুলি কি ? কি ভাবে শিল্পে ব্রোমিন উৎপাদন করা হয় ? কি ভাবে ব্রোমিন থেকে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড তৈরী করা যায় ?
What are the chief sources of bromine ? Describe its preparation on commercial scale. How can hydrogen bromide be prepared from it ?
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.7c, 13.7e, 13.7f এবং 13.11a দেখ]

9. টীকা লেখ : ব্রোমিন মনোক্সাইড, ব্রোমিন ডাই অক্সাইড, ও ব্রোমিন পারক্সাইড।
Write notes on : Bromine monoxide, Bromine dioxide and Bromine peroxide.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.14 দেখ]

10. আয়োডিনের মুখ্য উৎসগুলির উল্লেখ কর এবং এদের যে কোন দুটি থেকে আয়োডিনের নিষ্কাশন বর্ণনা কর। নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সাথে আয়োডিনের কি বিক্রিয়া ঘটে ?
(ক) সোডিয়াম থায়োসালফেট দ্রবণ (খ) পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ (গ) কস্টিক সোডা দ্রবণ এবং (ঘ) গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড।
Mention the chief sources of iodine and give an account of its extraction from any two of these ? What is the action of iodine on (a) Sodium thio sulfate solution (b) Potassium iodide soln (c) Caustic soda solution and (d) concentrated nitric acid.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.8j, 13 8d. 13.8e ও 13.8h দেখ]

11. আয়োডিক ও পারআয়োডিক অ্যাসিডের প্রস্তুতি ও ধর্ম সম্বন্ধে আলোচনা কর
Discuss the preparation and properties of iodic and periodic acids.
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.16d ও 13.16e দেখ]

12. টীকা লেখ : (ক) ছদ্ম-হ্যালোজেন (খ) আন্তঃহ্যালোজেন
(গ) পলিহ্যালাইড ও (ঘ) আয়োডিনের ক্ষারক ধর্ম

Write short notes on :
(a) Pseudo halogen (b) Interhalogens
(c) Polyhalides (d) Basic properties of Iodine
[সংকেত : অনুচ্ছেদ 13.16f, 13·16g, 13.16h, 13.16i দেখ]

বর্ণানুক্রমিক সূচী